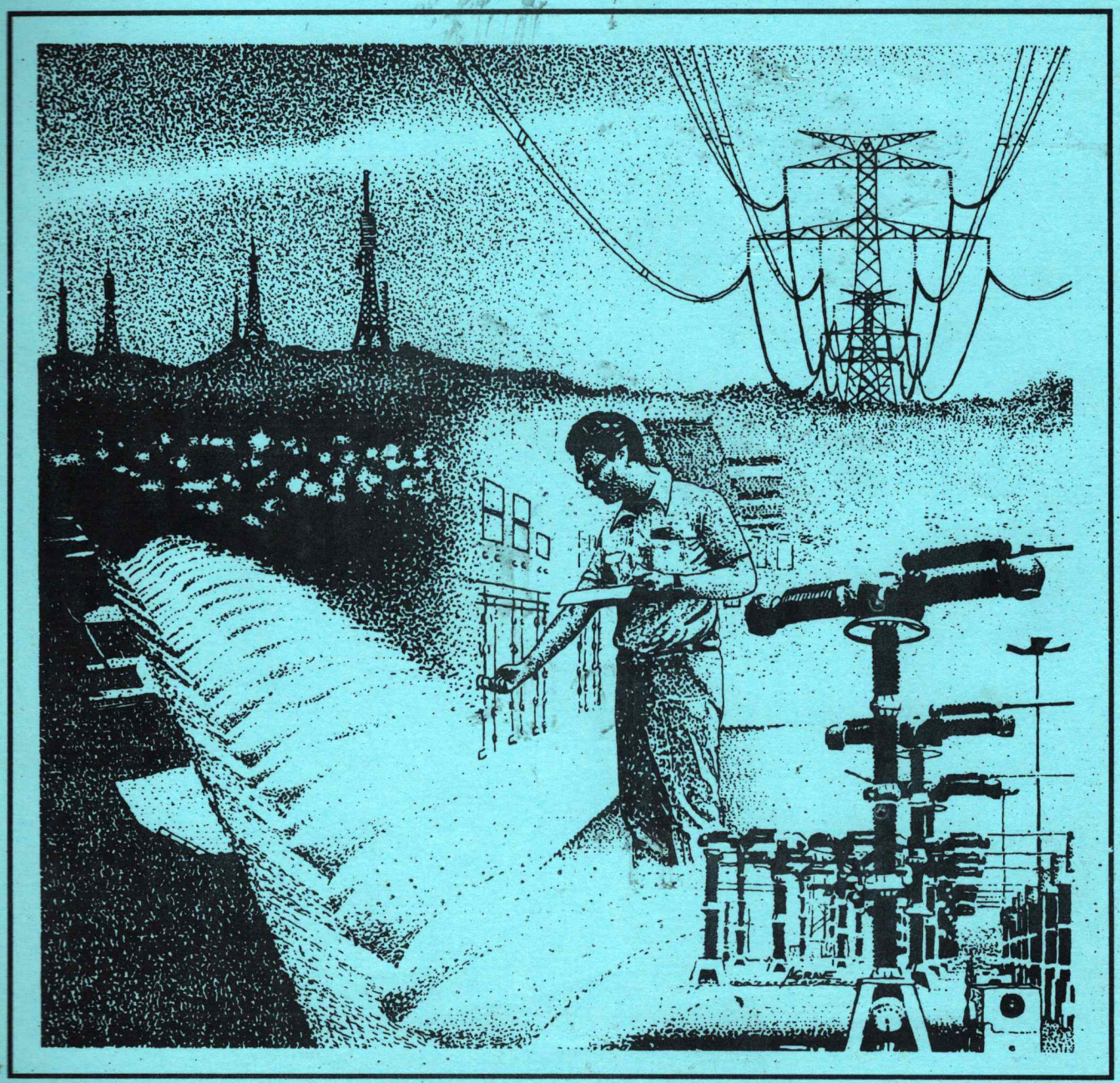
P. THOMASSET
16/09/98

(7)

TRANSFORMADORES

V CURSO INTERNACIONAL DE TREINAMENTO EM PROTEÇÃO DE SISTEMAS DE GERAÇÃO E TRANSMISSÃO



JFY 1998

SÉRIE TREINAMENTO, 292

PROTEÇÃO DE TRANSFORMADORES

Apostila 3091

3ª edição revista e atualizada

Ilha Solteira
1997

PH - Departamento de Recursos Humanos
PHD - Divisão de Políticas e Desenvolvimento
PHDI - Centro de Treinamento Técnico de Ilha Solteira

M.O. 9.415.313

Al. Maranhão, s/nº - Ilha Solteira - SP
Tel. (018) 762-2973

1ª edição/1997

Depósito Legal: Biblioteca

CESP - CATALOGAÇÃO NA FONTE

CESP.
Proteção de transformadores. / CESP, -- Ilha Solteira, 1997
56 p. -- (Série Treinamento,292)

1.Transformador. 2.Estudo e Ensino. I.Título. II.Série.

SUMÁRIO

p.

Introdução..... 03

01. Transformador..... 04

02. Tipos de anormalidades..... 04

03. Proteção diferencial aplicada a transformadores..... 06

04. Proteção de retaguarda para defeitos externos ou internos..... 17

05. Proteção contra sobrecargas/sobretemperaturas..... 22

06. Relés atuados a gás..... 24

07. Fusíveis..... 25

08. Exemplos..... 25

INTRODUÇÃO

O presente trabalho visa atender ao módulo de "Proteção de Transformadores", constante do curso de "Proteção de Sistemas de Geração e Transmissão", ministrados pelo Centro de Treinamento de Ilha Solteira, não possuindo qualquer finalidade comercial.

Os tópicos abordados são: tipos de anormalidades, proteção diferencial aplicada a transformadores, proteção de retaguarda para defeitos externos ou internos, proteção contra sobrecarga/sobretemperaturas, relés atuados a gás e fusíveis.

01. TRANSFORMADOR

O transformador de potência é um dos equipamentos mais importantes num sistema de potência e, devido à sua própria natureza, requer tipos especiais de dispositivos de proteção. Não é possível ajustar um relé de impedância (como numa linha de transmissão) para detetar todos os tipos de defeitos nos enrolamentos de um transformador.
Diferentemente de um gerador, a transmissão de voltagem e o eventual deslocamento angular introduzido pelo tipo de conexão do transformador criam problemas diferentes que precisam ser levados em consideração na proteção do transformador.

02. TIPOS DE ANORMALIDADES

Pode-se classificar as anormalidades que afetam a operação de um transformador em dois grupos:

02.1. Externas

a) Condições de sobrecarga

Os transformadores podem suportar normalmente alguns tipos de sobrecarga; geralmente em níveis e períodos determinados: Há necessidade de dispositivos que detetem a anormalidade quando estes níveis ou períodos estabelecidos são ultrapassados.

b) Curtos-circuitos externos

Podem ocorrer os curtos-circuitos externos ao transformador (em barras ou linhas, por exemplo), com a corrente de curto passando através do mesmo.

Nestas condições, há necessidade de relés que detetem esta corrente e desliguem o transformador quando de eventual falha de proteção ou disjuntor correspondente ao elemento externo em curto-circuito (proteção de retaguarda do transformador).
Estes mesmos relés servem de retaguarda também para defeitos internos ao TR.

02.2. Internas

As proteções chamadas de 1ª linha ou primárias de um transformador são previstas para detetar condições resultantes de defeitos internos ao mesmo.
Faltas internas são bastante sérias e há sempre o perigo de fogo.
Podem ser classificadas em 2 grupos:

Grupo A

Defeitos elétricos que causam danos imediatos e sérios, porém que são facilmente detetados por relés de proteção.
São os diversos tipos de curtos-circuitos a terra ou entre fases, envolvendo qualquer enrolamento do TR.

Grupo B

Neste grupo podem ser classificados os arcos elétricos limitados dentro do óleo isolante, causados por más conexões ou problemas no núcleo do TR.
Também dentro deste grupo pode-se incluir as sobretemperaturas causadas por diversos fatores como falta de ventilação, baixo nível de óleo etc.
Geralmente, para defeitos do Grupo A, é importante que o TR em falta seja rapidamente isolado, não só para limitar os danos, como também para evitar que o defeito no TR cause outras aberturas no sistema. As faltas do Grupo B, ou decorrentes de situações do Grupo B, apesar de não serem sérias no estágio inicial, podem causar faltas maiores no decorrer do tempo.

03. PROTEÇÃO DIFERENCIAL APLICADA A TRANSFORMADORES

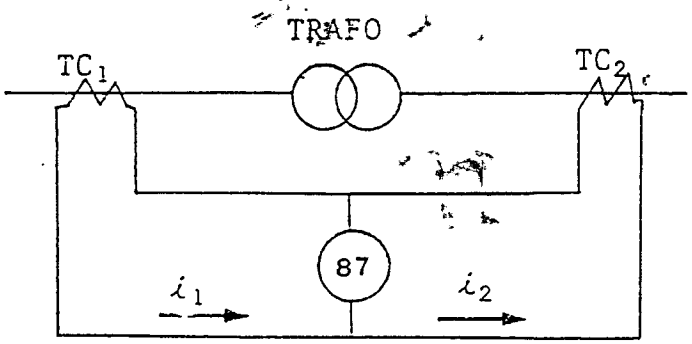
03.1. Considerações

Relés diferenciais são a principal forma de proteção de transformadores com potência superior a 5 ou 10 MVA (dependendo da filosofia adotada pelo projetista). Estes relés, entretanto, não podem ser tão sensíveis como aqueles utilizados para a proteção de geradores. Relés diferenciais de transformadores estão sujeitos a vários fatores que podem causar operação indevida no mesmo:

- Níveis de tensão diferentes num TR, inclusive com vários "taps" num nível de tensão, que podem resultar em correntes diferentes nos circuitos de conexão do relé;
- Possíveis diferenças de correntes, comparadas, decorrentes de TCs diferentes ou de performances diferentes de TCs.
- Defasamentos angulares e demais situações introduzidas pelo tipo de conexão do TR. Δ Y
- Correntes de magnetização transitórias (inrush currents).
  → ha y 2de armonica en las corrientes

03.2. Princípio de funcionamento

Na figura abaixo encontramos um transformador de potência sendo protegido por um relé diferencial simbolizado pelo número 87.



Alimentado pelas correntes secundárias i1 e i2 dos transformadores TC1 e TC2, colocados em cada lado do transformador, sua função é a de comparar estas correntes, que nada mais são que as imagens das correntes que circulam nos enrolamentos do transformador e atuar para uma dada diferença vetorial, pré-determinada, entre elas. Em condições normais de funcionamento, esta diferença deve ser praticamente nula e para que isto aconteça temos três pontos a considerar:

a) **Relação de transformação dos TCs**

As relações dos TCs que alimentam o relé diferencial devem ser escolhidas de modo a fazer com que os módulos das correntes secundárias que chegam até ele sejam praticamente iguais. Para se conseguir isto, pode-se usar também transformadores intermediários, a fim de compensar a relação de transformação inadequada dos TCs principais.

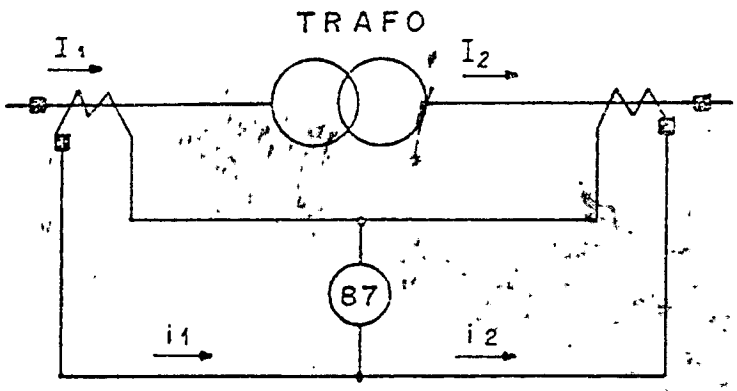
b) Tipo da conexão dos TCs (delta ou estrela)

A conexão dos TCs deve ser de tal modo que as correntes de mesma fase cheguem ao relé sem ângulo algum entre elas. O tipo de conexão dependerá da conexão do transformador de potência. De um modo geral, para proteção do transformador Y - Δ, existe uma regra prática que diz o seguinte: os TCs no lado do transformador ligado em estrela devem ser ligados em triângulo e no lado do transformador ligado em triângulo os TCs devem ser ligados em estrela. Esta regra pode ser violada.

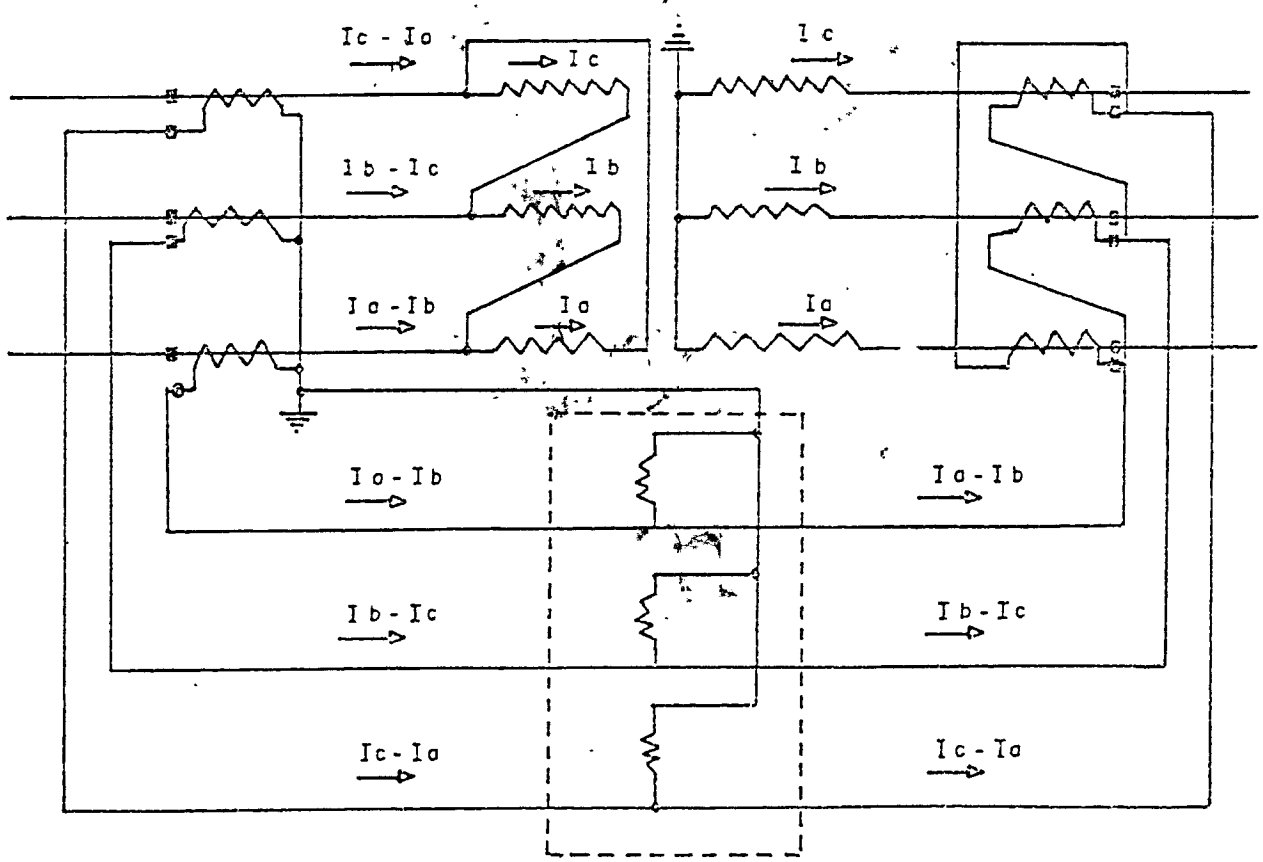
c) Polaridade

A polaridade dos TCs deve ser observada de modo a fazer com que as correntes secundárias dos TCs tenham o mesmo sentido de percurso nos cabos que os ligam ao relé.

Exemplo:



Na figura a seguir, mostramos a ligação de um relé diferencial com a observação dos itens mencionados.

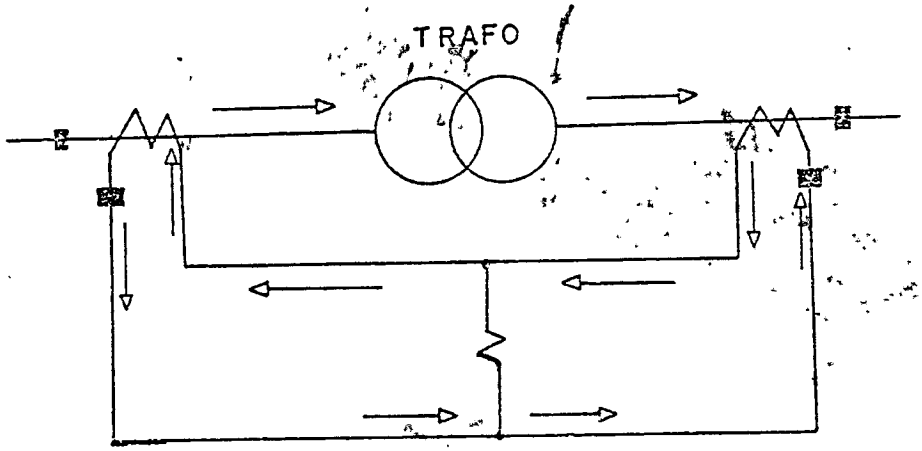


relé diferencial

03.3. Comportamento da proteção diferencial sob diversas condições

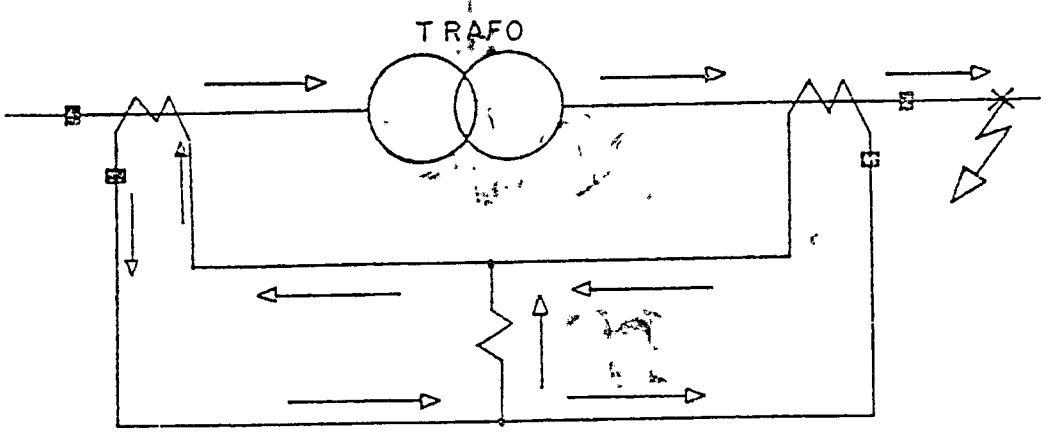
A proteção diferencial deverá atuar somente para faltas compreendidas entre os TCs principais que alimentam o relé. Então, vejamos:

03.3.1. Condição normal de carga



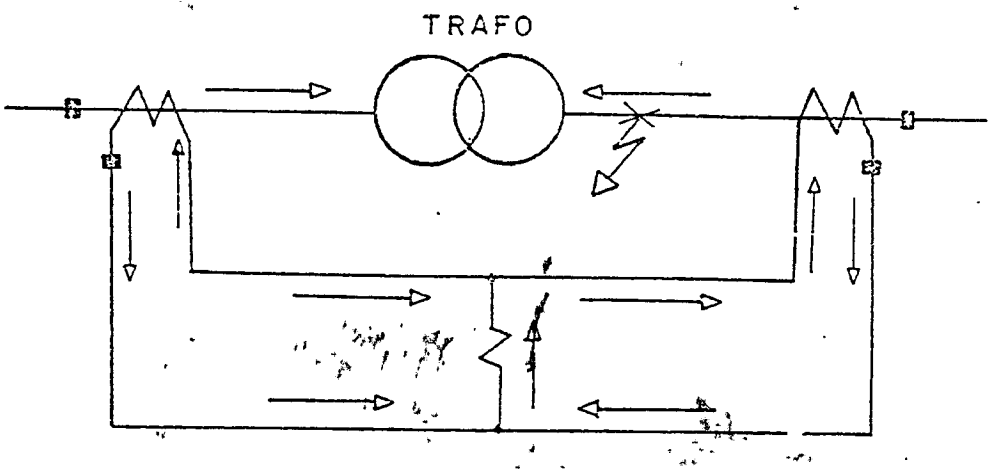
Nenhuma corrente passará pela bobina de operação do relé. Logo, ele não atuará.

03.3.2. Falta fora do trecho compreendido entre os dois TCs



Sem levar em consideração o problema da saturação dos TCs, também neste caso nenhuma corrente passará pelo TC. Logo, também não atuará para faltas externas ao trecho compreendido entre os dois TCs.

03.3.3. Falta dentro do trecho compreendido entre os dois TCs



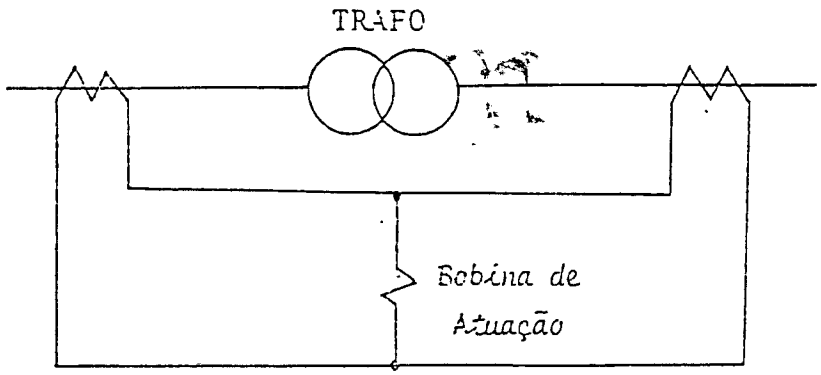
Se a corrente flui para o ponto de falta de ambos os lados, como mostrado acima, a soma das correntes secundárias dos TCs circulará através do relé diferencial. Se a corrente de falta fluir por um lado somente, da mesma maneira, uma corrente circulará através do relé.
Logo, o relé operará desde que o valor desta corrente exceda a um valor pré-determinado de atuação.

03.4. Tipos de relés diferenciais

Conforme o arranjo usado, os relés diferenciais podem ser simplesmente diferenciais ou diferenciais percentuais, como mostrado a seguir:

03.4.1. Simplesmente diferencial

Um exemplo simples deste arranjo é mostrado na figura abaixo.



Este tipo de arranjo não é conveniente devido à atuação inadequada para certos tipos de problemas de seguintes providências:

a) Características dos TCs

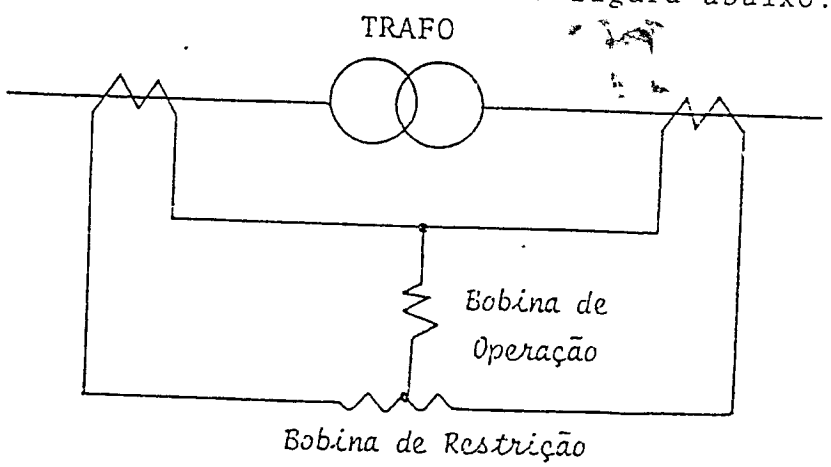
A menos que a saturação seja evitada, a diferença nas características dos TCs leva a diferentes relações e, como acontecem em circuitos de tensão diferente, podem causar apreciável diferença nas respectivas correntes secundárias quando da ocorrência de uma falta. Sendo a falta externa à zona de proteção, o relé poderá operar indevidamente.

b) Transformadores equipados com comutador automático de tensão

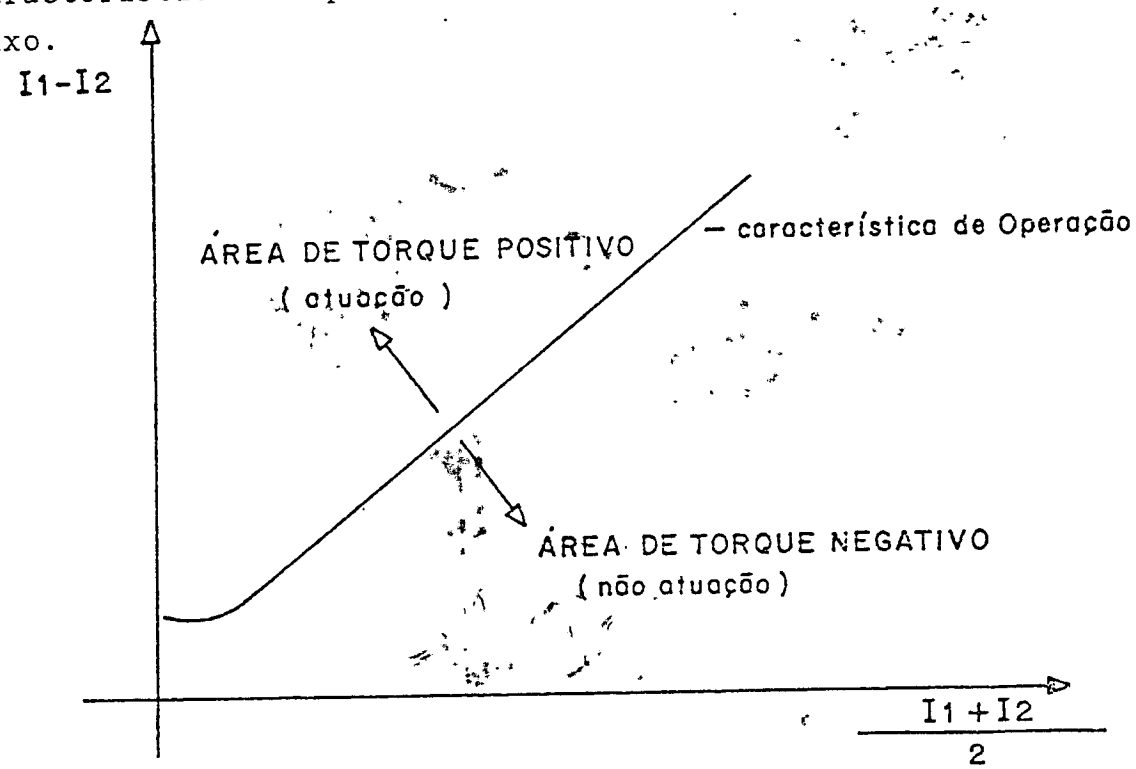
Quase todos os modernos transformadores de potência são equipados com mecanismos capazes de alterar a relação de tensão do transformador sob carga. Com a mudança de relação, a proporcionalidade que exista entre a corrente primária e secundária será alterada e, conseqüentemente, as correntes secundárias se tornarão desiguais, causando a circulação de corrente através do relé que poderá atuar para uma condição normal de funcionamento.

03.4.2. Diferencial percentual

Um arranjo deste tipo é mostrado na figura abaixo:



A vantagem deste tipo de arranjo sobre o outro é que a probabilidade de atuação para os problemas mencionados anteriormente é bem menor, visto ser a corrente diferencial, requerida para operar este relé, uma quantidade variável, devido ao efeito da bobina de restrição (esta bobina restringe, prende, a operação do relé). A corrente diferencial da bobina de operação é proporcional a (I1 - I2) e a corrente equivalente na bobina de restrição é proporcional a I1 + I2/2, já que a bobina de operação é conectada ao centro da bobina de restrição. Em outras palavras, sendo N o número de espiras na bobina de restrição, os ampères-espiras serão (I1 N/2 + I2 N/2), que é como se I1 + I2/2 atravessasse todas as espiras.
A característica de operação de tal relé é mostrada na figura abaixo.



Podemos ver que, exceto para o pequeno efeito da mola de controle, em correntes baixas, a relação da corrente diferencial de operação para a corrente média de restrição representa uma percentagem fixa, o que explica o nome deste relé.
Desde que no relé diferencial a corrente diferencial necessária para atuar o relé cresce com o aumento da corrente passante, cresce então a restrição, evitando operação indevida.

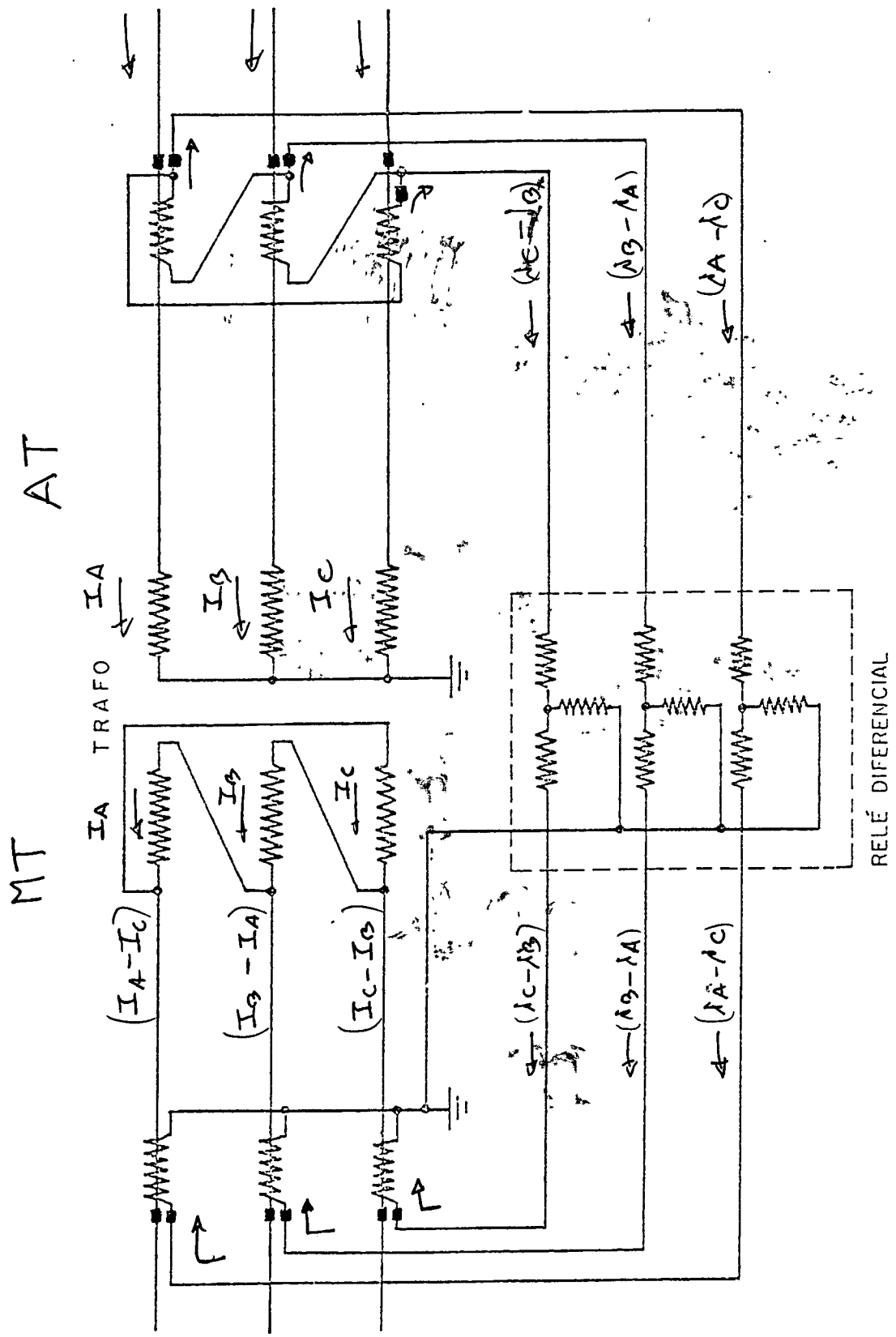
03.5. Efeito da corrente transitória de magnetização nos relés diferenciais

Quando um transformador é energizado, a corrente transitória pode atingir valores de pico correspondentes a várias vezes a corrente de plena carga do transformador e sua decaída é relativamente lenta. Esta corrente, geralmente, flui somente em um lado da conexão do relé diferencial, o que tende a fazer com que opere indevidamente.
O funcionamento indevido da proteção diferencial, devido a estas correntes transitórias, é bastante desagradável, pois além da demora em por a unidade em serviço, causa dúvidas quanto a um possível defeito no transformador.
Métodos foram, então, desenvolvidos para eliminar este tipo de problema.
Usou-se dessensibilizar o relé por um curto tempo até que a corrente transitória de magnetização decaísse suficientemente.
Atualmente, usa-se desviar parte da corrente transitória da bobina de atuação através de paralelismo de resistências variáveis, ou utilizam-se filtros especiais para as harmônicas predominantes da corrente de magnetização temporária.

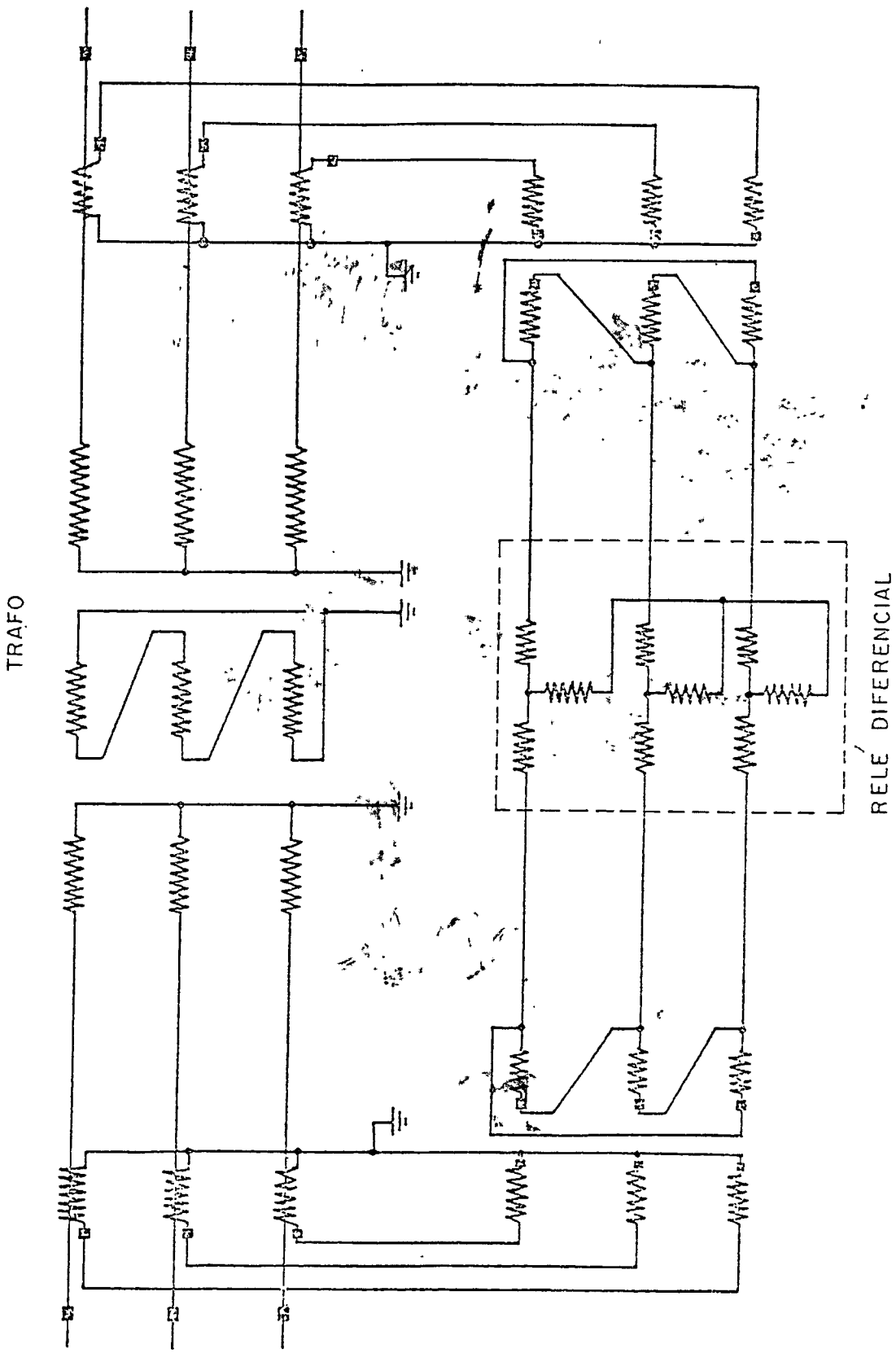
03.6. Esquemas de ligação de relés diferenciais a alguns tipos de transformadores

Nos esquemas seguintes ilustramos algumas ligações de proteção diferencial.

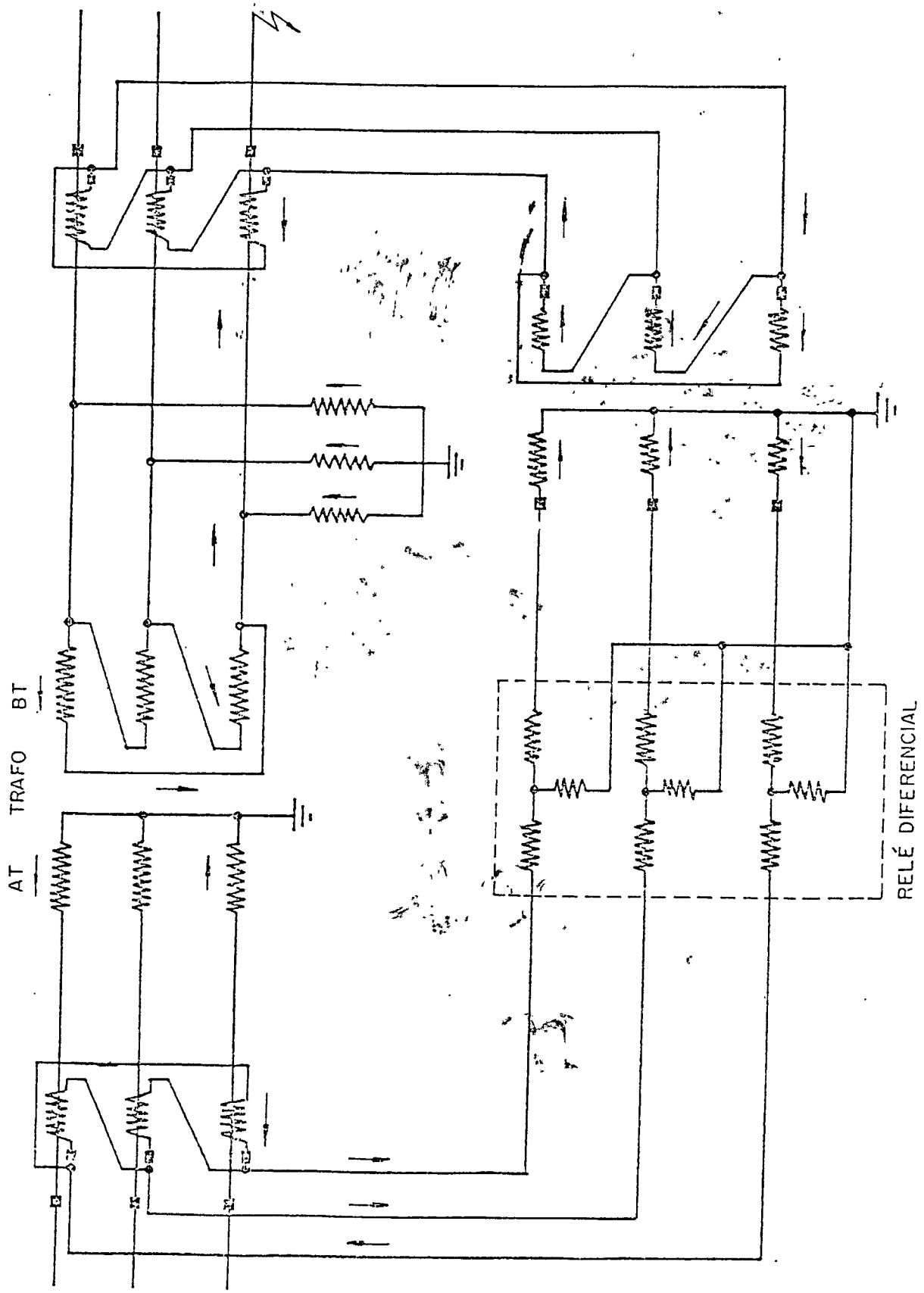
PROTEÇÃO DIFERENCIAL NUM TRAFO △ Y



PROTEÇÃO DIFERENCIAL NUM TRAFO Y Δ Y



PROTEÇÃO DIFERENCIAL NUM TRAFO Y - △ COM TRAFO DE ATERRAMENTO

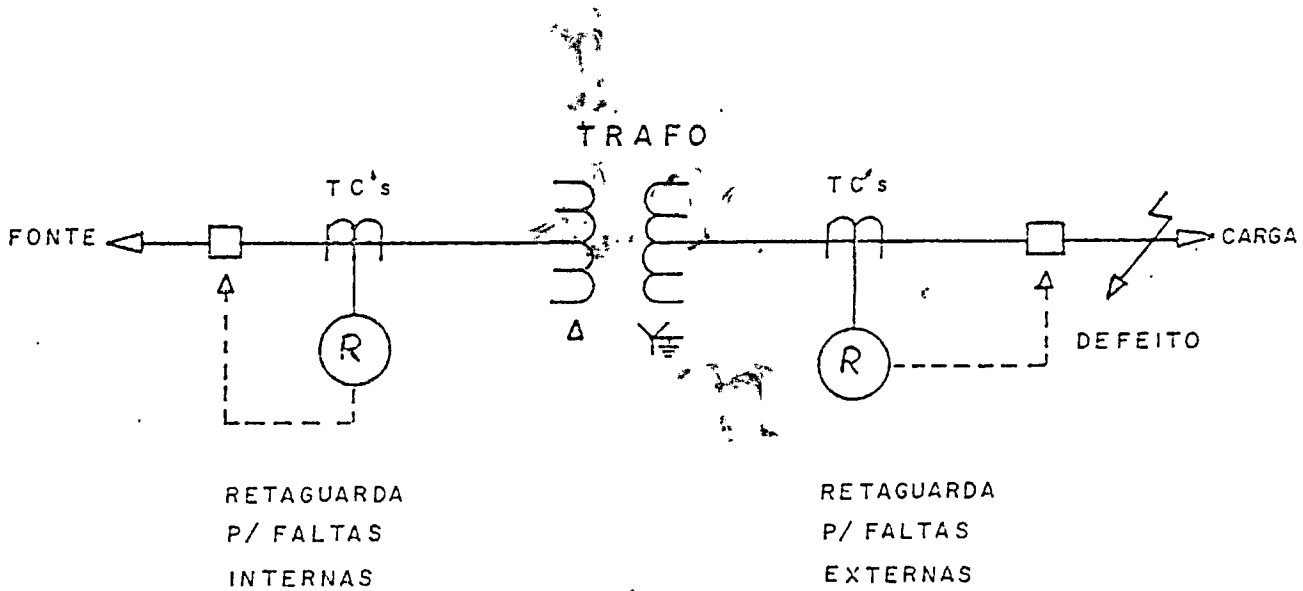


04. PROTEÇÃO DE RETAGUARDA PARA DEFEITOS EXTERNOS OU INTERNOS

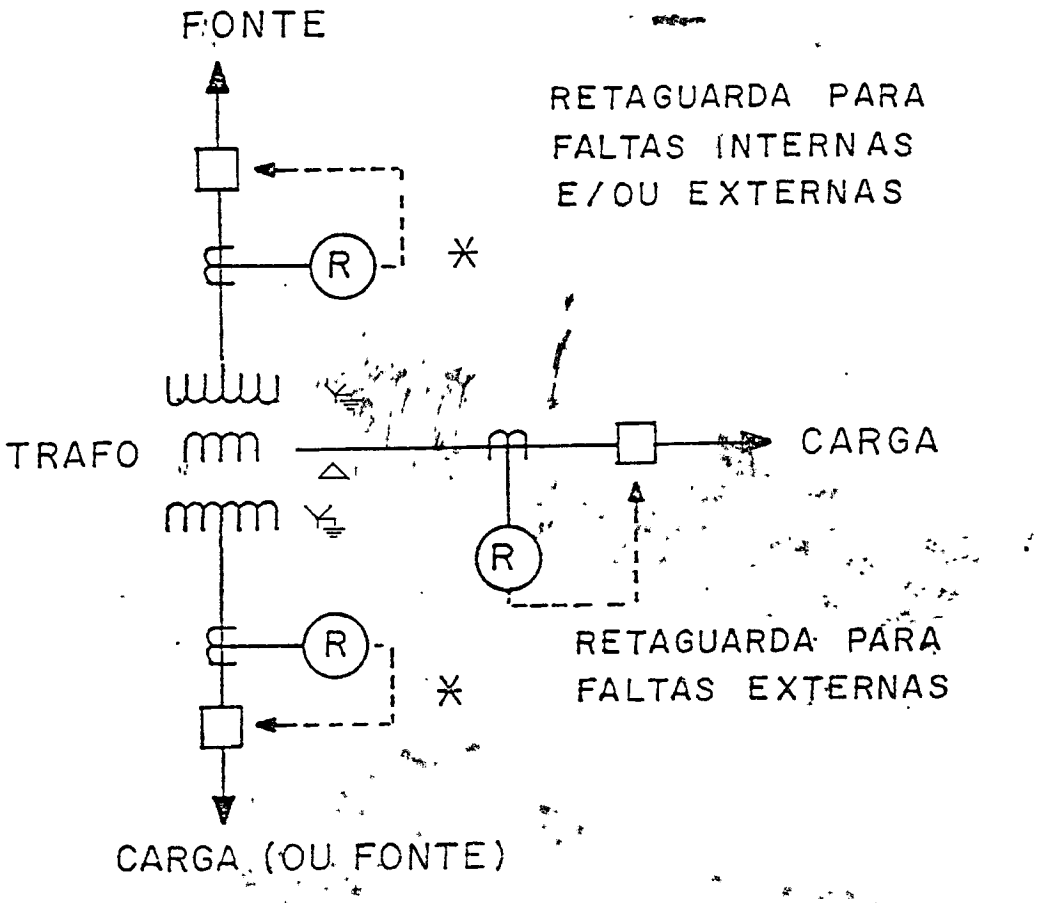
04.1. Considerações gerais

Um transformador de potência, protegido por relés diferenciais, deve ser também equipado com relés de sobrecorrente, de preferência alimentados por transformadores de corrente independentes dos da proteção diferencial, para desligar o disjuntor do lado do defeito, quando as faltas externas perdurarem por tempo demasiadamente longo.
Estes mesmos relés podem servir de retaguarda para defeitos internos, quando de falha do relé diferencial.
Deve-se ter em vista que os ajustes dos relés de sobrecorrente devem ser suficientemente altos para que os relés sejam seletivos com os outros do sistema e também para que não operem com a corrente transitória de magnetização.

Transformador abaixador de 2 enrolamentos



Transformador de 3 enrolamentos com o terciário acessível



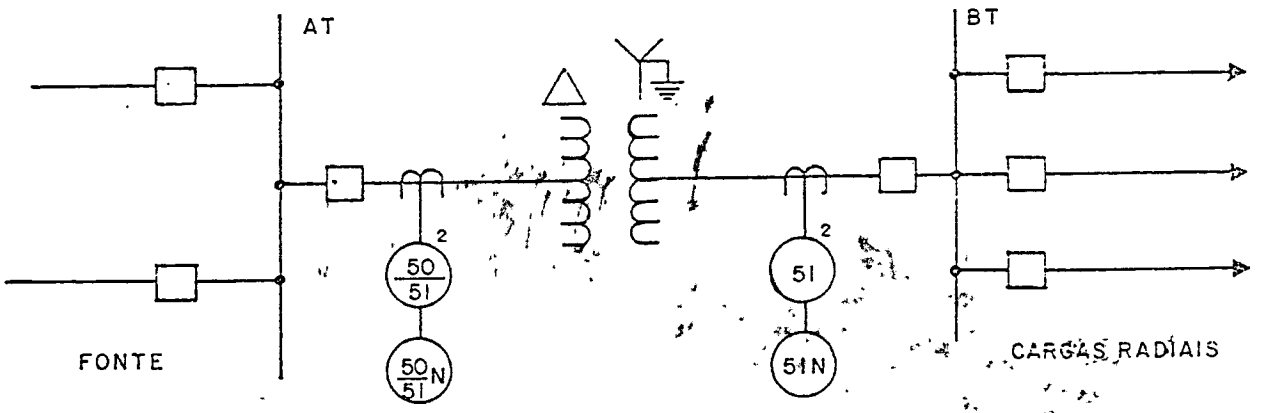
Cada conjunto de relés de retaguarda (indicado por R nos desenhos anteriores) pode desligar apenas o disjuntor a ele associado, ou pode desligar todos os disjuntores do TR. A escolha depende da localização das fontes e cargas, da análise de todas as contingências possíveis quanto à localização do defeito e da eventual necessidade de desligamento total do TR. Cada conjunto mencionado pode ser constituído de:

a) 2 x (50/51) + (50/51N) ou
b) 3 x (50/51) + (50/51N) ou
c) (50/51N) ou
d) (51N) ou
e) 3 (50/51)

e a escolha depende de:

- Nível de confiabilidade que se deseja para a proteção;
- Níveis de curto-circuito e faixas de ajustes nos relés disponíveis;
- Tipo de conexão do transformador.

04.2. Exemplo 1



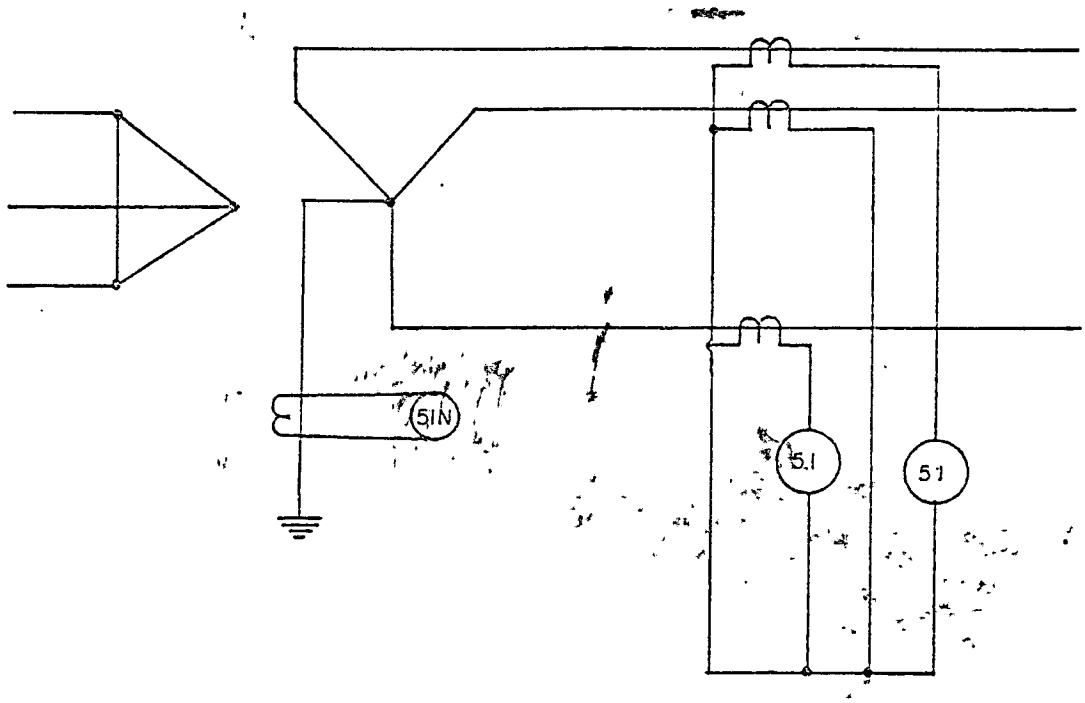
Os relés de corrente temporizados, de fase (51) e de terra (51N), instalados no lado BT do transformador, tem a finalidade de proteger (como retaguarda) o TR contra curtos-circuitos externos.

Portanto, devem ter sensibilidade suficiente para detetar cutos-circuitos nas linhas radiais e ajustes adequados para coordenar com os relés dos alimentadores.

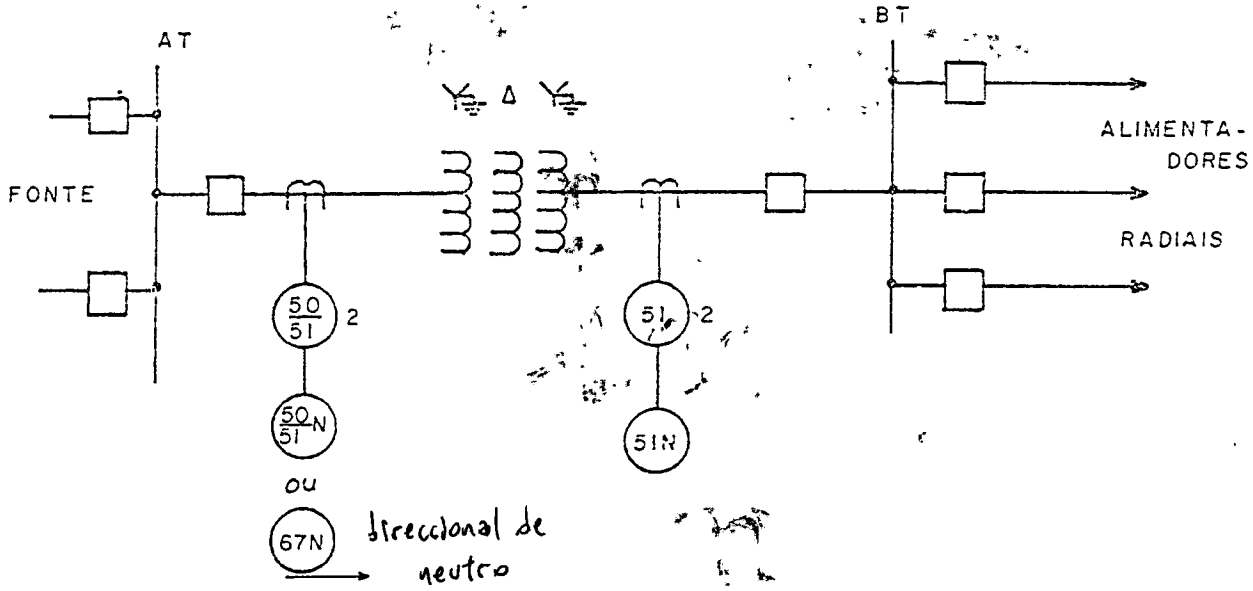
Os relés de sobrecorrente de fase (50/51) do lado da AT têm a finalidade de servir de retaguarda para curtos-circuitos internos ao TR. Podem eventualmente, dependendo da faixa de ajustes disponível, servir de retaguarda (2ª) para faltas no lado BT (barramento e alimentadores).

Os relés de sobrecorrente de terra (50/51N) servem de retaguarda para faltas a terra no enrolamento da AT do TR. Eles não detectam faltas no lado BT.

No lado BT, o relé de terra 51N poderia também servir de retaguarda para curtos a terra no enrolamento BT, se fosse conectado a um TC no neutro.



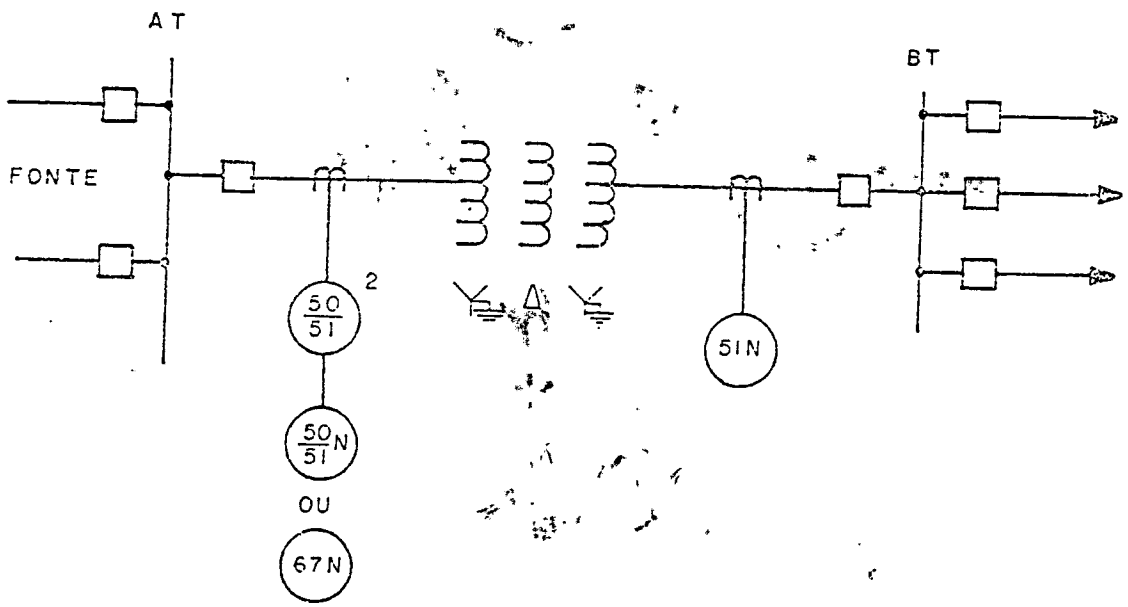
04.3. Exemplo 2



Para um caso como este, isto é, um TR abaixador com 3 enrolamentos com a conexão estrela/delta/estrela, as considerações são idênticas àquelas mencionadas no item 04.2 anterior, com exceção feita ao relé (50/51N) do lado AT.

O relé de sobrecorrente de terra do lado AT (50/51N), além de detetar curtos-circuitos a terra no enrolamento do lado AT, pode detetar também curtos a terra no lado BT.
O seu ajuste deve levar em consideração também a corrente de terra que "sobe" pelo aterramento do lado AT, para faltas a terra no lado da fonte. O relé deve ser o menos sensível possível a esta corrente, sem perder a sensibilidade para as correntes correspondentes aos curtos-circuitos internos ou do lado da BT.
O ideal seria este relé de terra do lado AT ser direcional (67N), atuando apenas para correntes no sentido barra-TR.

04.4. Exemplo 3



Neste caso, os relés de fase do lado AT devem ter sensibilidade suficiente para detetar faltas entre fases, tanto no TR como no lado BT e alimentadores. Deve servir de retaguarda para faltas internas e externas.
Para os relés de terra dos lados AT e BT, as considerações são as mesmas já mencionadas.

04.5. Considerações quanto às sobrecargas no TR

Os relés de sobrecorrente de fase (retaguarda) devem ser ajustados considerando as correntes de curto-circuito (para efeito de coordenação).
De preferência, estes relés não devem detetar sobrecargas eventuais, sejam elas de natureza temporária ou contínua (evidentemente dentro de certos limites).

05. PROTEÇÃO CONTRA SOBRECARGAS/SOBRETEMPERATURAS

05.1. Relés térmicos

- São relés conectados aos TCs do transformador a proteger e são construídos para reproduzir fielmente as características térmicas do equipamento a proteger.

- Possuem indicadores de temperatura e contatos que podem ser utilizados para alarme ou para desligamento separadamente.

- A fim de que o relé proporcione a imagem exata da temperatura do enrolamento do TR, a constante de tempo de aquecimento do relé deve ser escolhida aproximadamente igual à constante de tempo de aquecimento do TR.

- Estes relés são atualmente pouco utilizados para transformadores, pois detetam apenas os sobreaquecimentos causados por sobrecorrente no enrolamento.

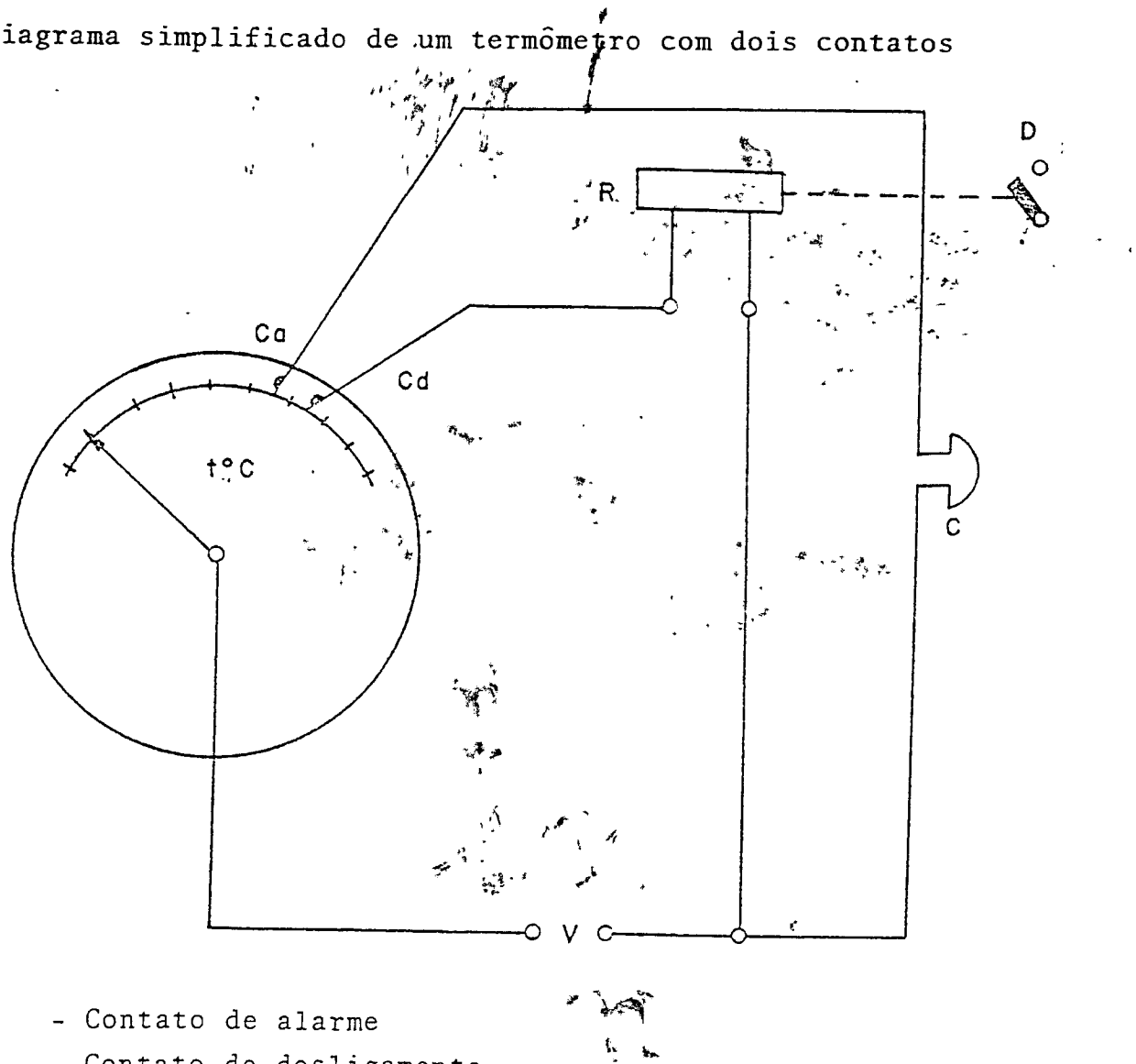
05.2. Termômetros com contatos elétricos

- Sobrecarga em transformador implica em sobreaquecimento do cobre e do óleo. Termômetros com contatos elétricos são utilizados para detetarem estas condições e assim, indiretamente, detetam as sobrecargas prolongadas e prejudiciais.

- Possuem geralmente 2 níveis de atuação: um primeiro nível de alarme apenas e um 2º nível para desligamento.

- Estes termômetros detetam, evidentemente, todo e qualquer sobreaquecimento, mesmo que não seja causado por sobrecarga. Por exemplo, sobreaquecimento por falta de ventilação.

Diagrama simplificado de um termômetro com dois contatos



Ca - Contato de alarme
Cd - Contato de desligamento
V - Fonte
T°C - Termômetro
R - Relé de desligamento a distância, do disjuntor D
D - Disjuntor
C - Cigarra de alarme

06. RELÉS ATUADOS A GÁS

Defeitos no núcleo ou más conexões dentro do transformador podem criar arcos com aquecimento localizado. A 350°C, o óleo isolante se decompõe em gases que sobem através do óleo, acumulando-se na parte superior do TR. Além da decomposição do óleo, materiais isolantes sólidos podem também ser decompostos produzindo gases (inflamáveis).

06.1. Relé Buchholz

O relé Buccholz opera um alarme quando uma quantidade especificada de gás é acumulada e pode operar o circuito de desligamento do transformador quando de um curto-circuito interno. O arco associado ao curto-circuito gera gases tão rapidamente (da ordem de 50 cm^3/kW seg) que cria um surto no óleo que por sua vez, atua rapidamente o circuito de "trip" do Buchholz.
Os gases acumulados, decorrentes de faltas "insipientes", podem ser coletados e analisados para se determinar, com alguma probabilidade de acerto, o tipo de defeito ocorrido (gases resultantes da decomposição do óleo, ou de material isolante sólido etc.).

06.2. Relés de súbita pressão

Em alguns tipos de transformadores, a unidade de "trip" do relé Buccholz pode não ser aplicável. No caso, utiliza-se um relé de "súbita pressão" que é montado no tanque e opera na base da medição da taxa de variação da pressão do óleo.

07. FUSÍVEIS

Em transformadores de potência acima de 5000 kVA, raramente são utilizados fusíveis para proteção. As principais desvantagens dos fusíveis são:

- Abertura mono ou bifásica para curtos-circuitos mono ou bifásicos;
- Característica tempo-corrente fixa;
- Sensibilidade reduzida, principalmente para faltas a terra nos lados de baixa tensão de trafos delta-estrela;
- Elementos de proteção de utilização não repetitiva, isto é, necessitam ser trocados após cada operação.

Em transformadores de distribuição, entretanto, o uso de fusíveis é generalizado, devido principalmente à simplicidade (aspecto econômico).

08. EXEMPLOS

08.1. Exemplo 1

Dado o esquema unifilar da subestação e os seguintes dados:

1) Reatância de seqüência positiva equivalente do sistema - Zps = 0,100 pu

2) Reatância de seqüência zero equivalente do sistema - Zos = 0,140 pu

3) Reatâncias do transformador:

Zp = 1,004
Zs = -0,100
Zt = 0,400

4) 3 TCI - 25-50/5 A

5) 3 TC2 - 25-50/3 A

6) 3 TC3 - 250-500/3 A

7) 3 TCA - 5,0/4,3 A ou 6,3/8,8 A

8) 87 - Relé diferencial tipo D21 Se 2 (B. Boveri)

9) 50/51 - Relé de sobrecorrente tipo ICM 2 h (B. Boveri)

Faixa (4-16A), instantâneo (2,5 a 10 x IN)

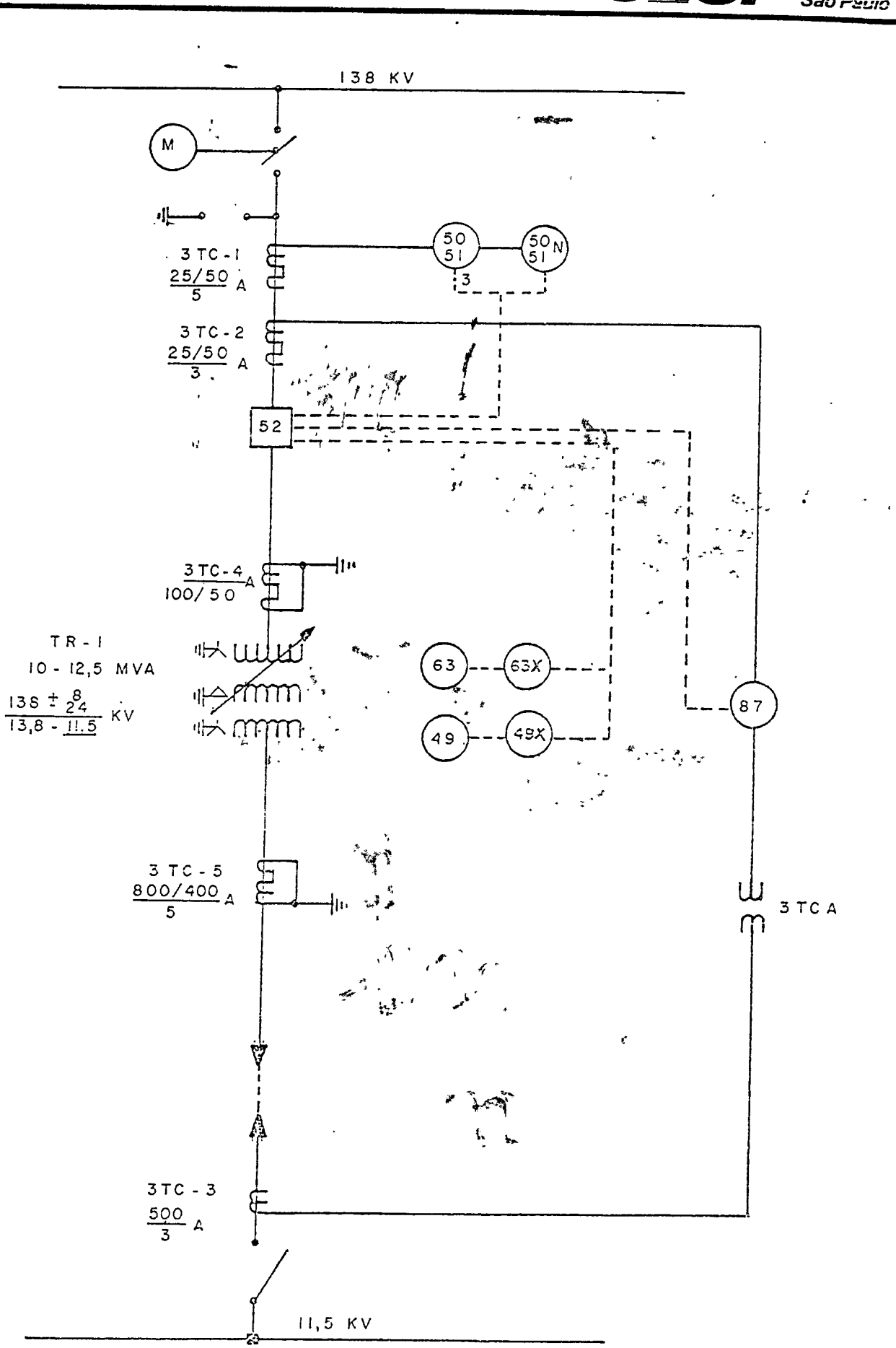
10) 50/51N - Relé de sobrecorrente tipo ICM 2 h (B. Boveri)

Faixa (0,8-3,2 A), instantâneo (2,5 a 10 x IN)

Pode-se:

1. Determinar o tipo de conexão dos TCs

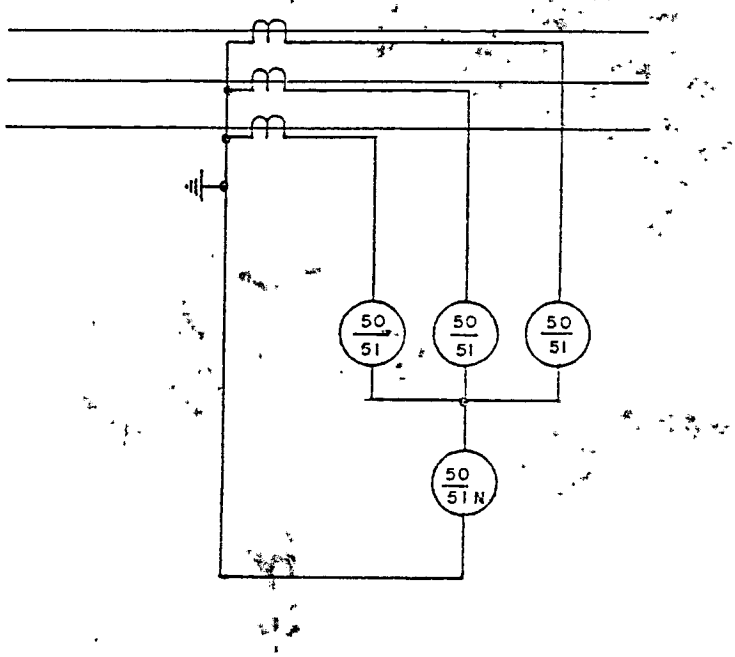
2. Ajustar as proteções


138 KV
M
3 TC - 1
25/50
5
A
50
51
50N
51
3
3 TC - 2
25/50
3
A
52
3 TC - 4
100/50
A
TR - 1
10 - 12,5 MVA
138 ± 8/24
13,8 - 11.5
KV
63
63X
49
49X
87
3 TC - 5
800/400
5
A
3 TC A
3 TC - 3
500
3
A
11,5 KV

Solução:

1. Tipo de conexão dos TCs

1.1. A análise do diagrama unifilar da subestação mostra que os TCs 1 e 2 são incorporados ao disjuntor e que no TC-1 estão conectados as proteções de sobrecorrente e no TC-2 a proteção diferencial. Logo, o TC-1 deverá ser conectado em estrela aterrada, conforme o esquema abaixo:



1.2. As relações de transformação disponíveis para este TC são 25/5 ou 50/5. Como a potência nominal do transformador é de 12,5 MVA, a correspondente nominal será:

$$IN = \frac{12.500\ (kVA)}{3 \times 138\ (kV)} = 52,296\ A = 52,3\ A$$

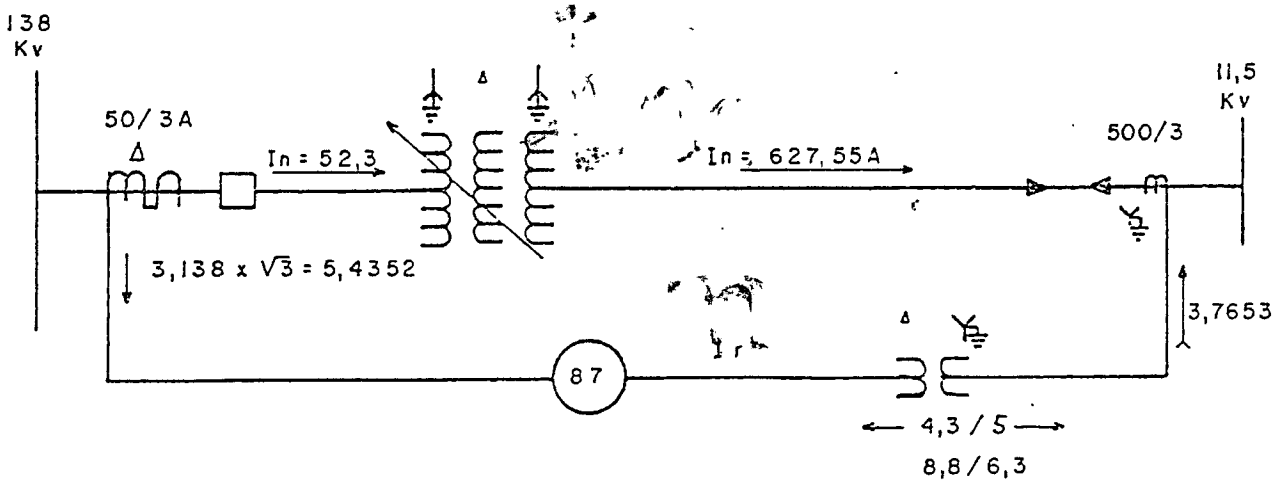
Logo, o TC deverá ser conectado na relação 50/5 A (1,046 x IN).

1.3. Como o transformador é aterrado do lado 138 kV, a conexão do TC-2, para proteção diferencial deverá ser em delta, na relação 50/3 A, pelos mesmos motivos dos itens 1.2 e 03.2 "b".

1.4. Do lado de 11,5 kV, o TC-3 possui relação fixa de 500/3 A, devido à existência de TC auxiliar entre TC-3 e relé diferencial. O TC-3 deverá ser conectado em estrela aterrado, juntamente com o enrolamento do TC auxiliar que estiver do lado do TC, enquanto que o enrolamento do TC auxiliar do lado do relé deverá ser conectado em delta, para evitar a circulação de corrente de seqüência zero pelo relé deverá ser conectado em delta, para evitar a circulação de corrente de seqüência zero pelo relé 87.

1.5. Determinação da relação de transformação do TC auxiliar:

De acordo com os itens 1.3 e 1.4 acima, temos que:



Admitindo-se a relação 8,8/6,3 temos:

$$6,3 \text{ ——— } 8,8$$

$$3,7653 \text{ ——— } X$$

$$X = \frac{8,8 \times 3,7653}{6,3} = 5,0204 \text{ A}$$

$$IC = x \cdot \sqrt{3} = 8,698 \text{ A},$$

o que não é compatível com a corrente do outro lado. Logo, a relação deverá ser 5/4,3 A:

$$5 \text{ ——— } 4,3$$

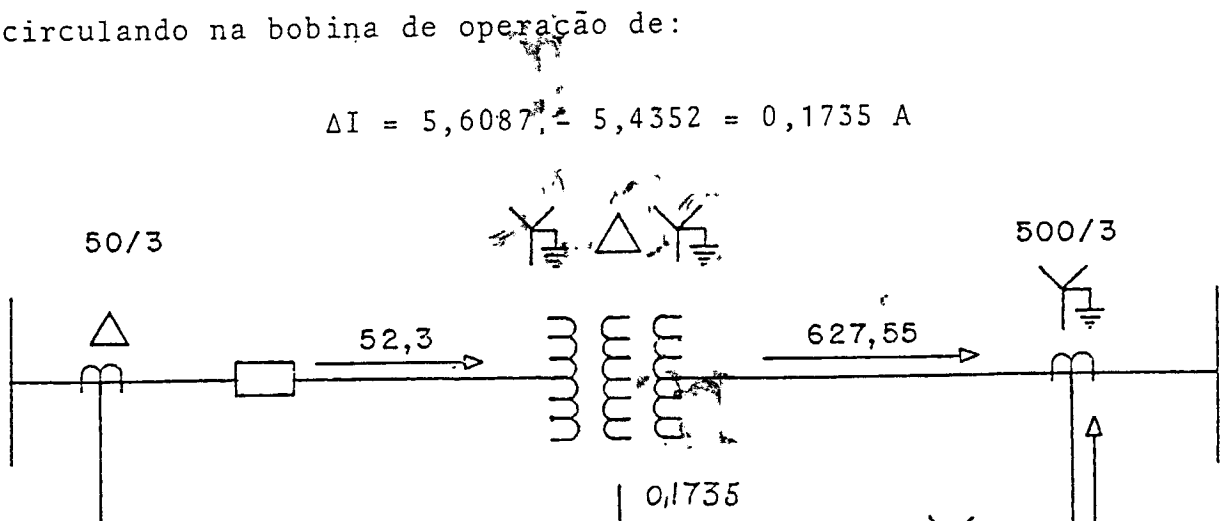
$$3,7653 \text{ ——— } X$$

$$X = \frac{4,3 \cdot 3,7653}{5} = 3,2382$$

$$IG = x \cdot \sqrt{3} = 5,6087 \text{ A}$$

Em condições normais de funcionamento, haverá uma corrente circulando na bobina de operação de:

$$\Delta I = 5,6087 - 5,4352 = 0,1735 \text{ A}$$



2. Ajuste das proteções

2.1. Relé diferencial

O relé diferencial D21 Se 2 da Brown Boveri possui dois ajustes:

g - Ajuste básico: indica o menor valor de corrente ΔI em termos de % da corrente nominal do relé que causará a sua operação. A corrente de partida (g%) é válida para corrente total acima de 0,51N, ajustável entre 20 a 50%. Deve ser ajustado suficientemente alto para prevenir o "trip" devido à corrente de magnetização. (Valor nominal g = 30%).

v - Ajuste de corrente de "pick-up" (%): deve ser ajustado suficientemente alto para evitar operação da proteção, devido às diferenças normais de corrente durante a operação normal, causadas por:

a) Erro de relação de transformação dos TCs;
b) Mudança de TAPs do transformador protegido;
c) Erro próprio dos TCs.

No presente caso temos:

$$\Delta I = 5,6087 - 5,4352 = 0,1735$$
$$\Sigma I = 5,6087 + 5,4352 = 11,0439$$
$$\Sigma I = 5,52195$$

Erro de relação:

$$Va = \frac{0,1735}{5,52195} = 0,03142 \times 100 = 3,142\ \%$$

Erro dos TCs:

$$Vb = 10,0 + 10,0 + 10,0 = 30,0$$
(TC-2, TC-3, TCA)

Erro devido aos TPs do transformador:

$$VC = \frac{I\ máx - I\ méd}{I\ méd}$$

$$I\ máx = \frac{12.500}{\sqrt{3}\ .\ 114} = 63,30\ A$$

$$I\ mín = \frac{12.500}{3\ .\ 146} = 49,40\ A$$

$$I\ méd = \sqrt{I\ max\ .\ I\ min} = \sqrt{63,3 \times 49,4} = 55,9$$

$$VC = \frac{63,3 - 55,90}{55,90} \times 100 = 13,20\%$$

$$V = Va + Vb + Vc = 3,142 + 30 + 13,2 = 46,30\%$$

Como os TAPs são 10 - 20 - 30 - 40 - 50%, temos:

$$V = 50\%$$

$$g = 30\%$$

2.2. Ajuste das proteções de sobrecorrente do lado de alta do transformador

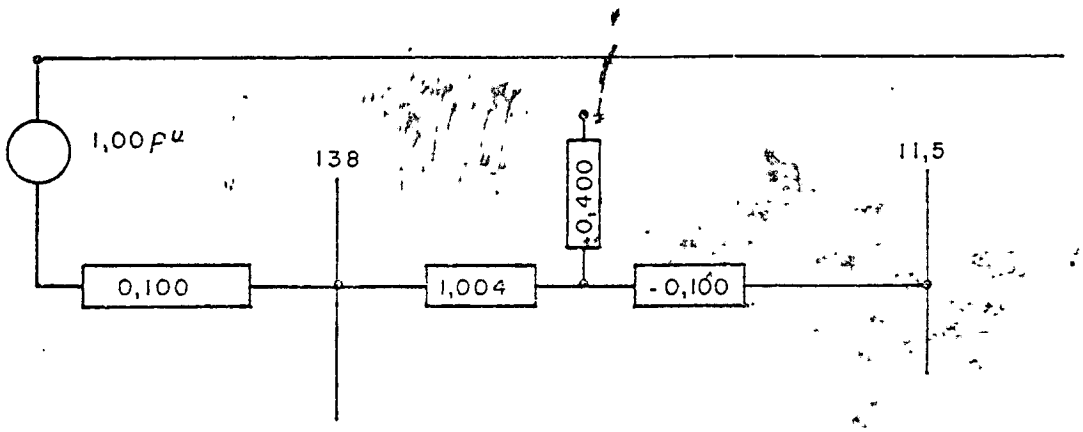
2.2.1. Comentários

Como só possuímos relés de sobrecorrente do lado de alta do transformador, os mesmos deverão operar tanto para curto-circuito no transformador (retaguarda do diferencial) como para todo curto-circuito do lado de baixa, até a barra de 11,5 kV, além de servir como proteção de retaguarda dos alimentadores.

2.2.2. Cálculo de curto-circuito

Curto-circuito 3Ø

Com os dados de reatância fornecidos, podemos montar o diagrama de seqüência positiva abaixo:



Lado 138 kV:

$$I\ 3\emptyset = \frac{1}{0,1} = 10\ pu$$

$$I\ 3\emptyset = 10 \times IB = I\ 3\emptyset = 4.185,7\ A$$

Lado 11,5 kV:

$$I\ 3\emptyset = \frac{1}{0,1 + 1,004 - 0,1} = \frac{1}{1,004} = 0,9960\ pu$$

$$I\ 3\emptyset = 0,9960 \times IB$$

$$IB = \frac{100.000}{3 \cdot 11,5} = 5020,44\ A$$

$$I\ 3\emptyset = 5040,6\ A$$

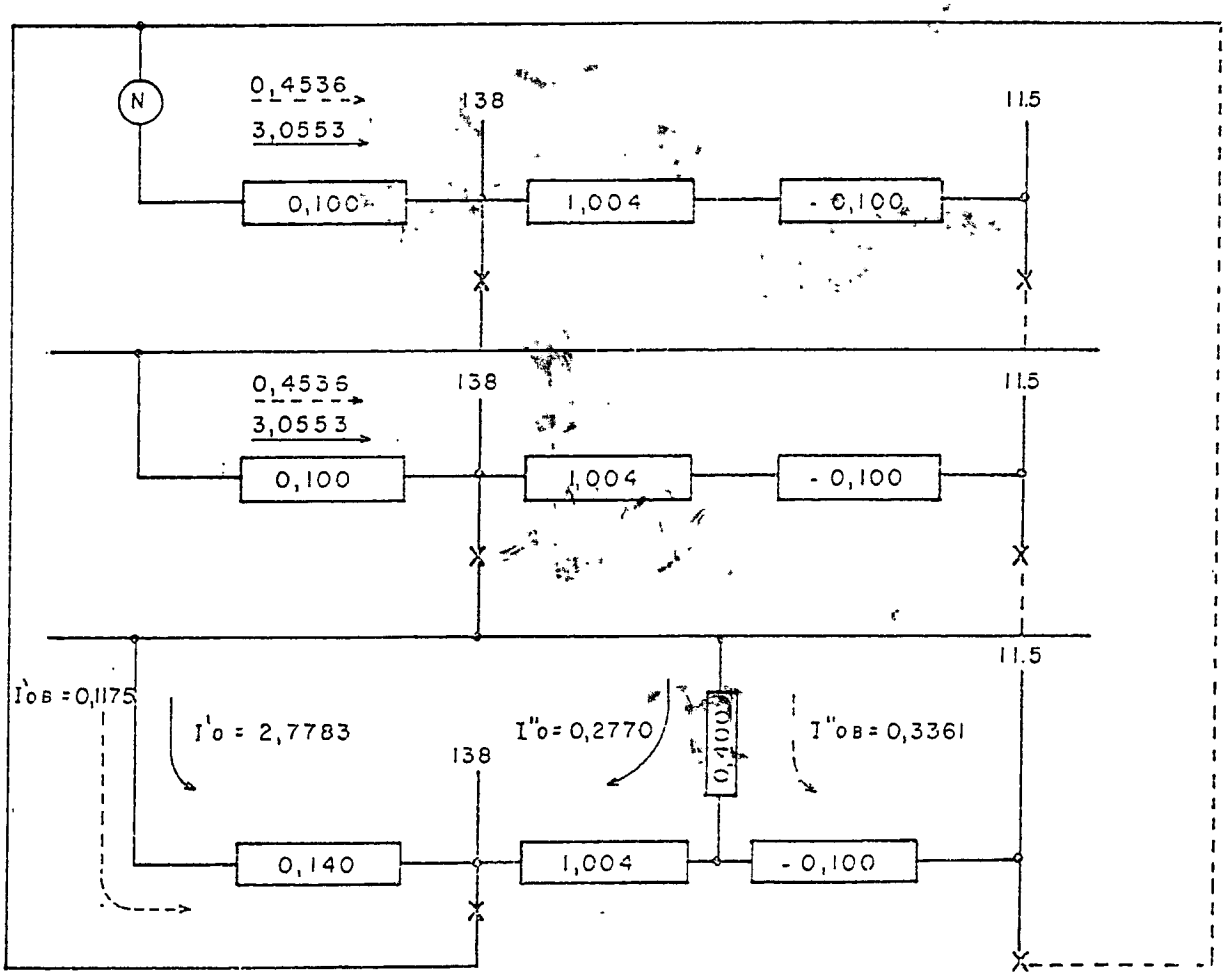
Corrente do lado 138 kV, para curto-circuito 3Ø do lado 11,5 kV:

$$I\ 3\emptyset_{138} = 0,9960 \times IB$$

$$IB = \frac{100.000}{3 \cdot 138} = 418,369\ A$$

$$I\ 3\emptyset_{138} = 416,7\ A$$

Curto-circuito Ø-T:



Lado 138 kV:

$$i_o = \frac{1}{Z1 + Z2 + Z0}$$

$$Z_0 = \frac{0,140 \times 1,404}{1,544} = 0,1273 \text{ pu}$$

$$i_o = \frac{1}{0,1 + 0,1 + 0,1273} = \frac{1}{0,3273} = 3,0553 \text{ pu}$$

$$3i_o = 3 \times 3,0553 = 9,1659 \text{ pu}$$

$$I_{ØT} = 9,1659 \times 418,369 = 3.847,7 \text{ A}$$

Determinação de I'_o e $I'_o{}'$

$$I'_o = 3,0553 \frac{1,404}{1,544} = 2,7783 \text{ pu}$$

$$I_{ØT} = 9,1659 \times 418,369 = 3.847,7 \text{ A}$$

Determinação de I'_o e $I'_o{}'$

$$I'_o = 3,0553 \frac{1,404}{1,544} = 2,7783 \text{ pu}$$

$$I'_o{}' = 3,0553 \frac{0,140}{1,544} = 0,2770 \text{ pu}$$

Logo, para curto-circuito ØT entre o relé e o trafo, temos:

Para o relé de fase:

$$I_{ØT} = 3,0553 + 3,0553 + 2,7783 = 8,8889 \text{ pu}$$

$$I_{ØT} = 8,3349 \times 418,369 = 3847 \text{ A}$$

Para curto-circuito ØT entre o sistema e o relé, temos:

Para o relé de fase:

$$I_{ØT} = 0 + 0 + 0,2770 = 0,2770 \text{ pu}$$

$$I_{ØT} = 0,2770 \times 418,369 = 116 \text{ A}$$

Para o relé de terra:

$$I_{ØT} = 3 \times 0,277 = 0,831 \text{ pu}$$

$$I_{ØT} = 0,831 \times 418,369 = 347,66 \text{ A}$$

Lado 11,5 kV:

$$i_o = \frac{1}{Z1 + Z2 + Z0}$$

onde,

$$Z1 = Z2 = 1,004$$

$$Z_0 = \frac{1,144 \times 0,400}{1,544} - 0,110 = 0,1964 \text{ pu}$$

$$i_o = \frac{1}{1,004 + 1,004 + 0,1964} = \frac{1}{2,2044} = 0,4536 \text{ pu}$$

$$3i_o = 1,3609 \text{ pu}$$

$$I_{Ø-T} = 6832 \text{ A}$$

Determinação de I'_{IB} o I'_{OB}':

$$I'_{OB} = 0,4536 \frac{0,400}{1,544} = 0,1175 \text{ pu}$$

$$I'_{OB}' = 0,4536 \frac{1,144}{1,544} = 0,3361 \text{ pu}$$

Logo, para curto-circuito ØT na baixa temos:

Para o relé de fase da alta:

$$I_{Ø-T} = 0,4536 + 0,4536 + 0,1175 = 1,0247$$

$$I_{Ø-T} = 1,0247 \times 418,369 = 428,7 \text{ A} \cong 429 \text{ A}$$

Para o relé de terra da alta:

$$I_{ØT} = 0,1175 \times 3 = 0,3525 \text{ pu}$$

Logo,

$$I_{ØT} = 0,3525 \times 418,369 = 147,5 \text{ A}$$

Para o relé de fase baixa (no caso, qualquer alimentador):

$$I_{Ø-T} = 0,4536 + 0,4536 + 0,3361 + 0,1175 = 1,3608$$

$$I_{Ø-T} = 1,3608 + 5020,44 \cong 6,832 \text{ A}$$

Para o relé de terra da baixa (no caso, qualquer alimentador):

$$I_{ØT} = 3i_o = 3 \times 0,4536 = 1,3608$$

$$I_{ØT} = 1,3608 \times 5020,44 = 6832 \text{ A}$$

Tabela resumo

	Relé de Fase Alta (A)	Relé de Terra Alta (A)	Relé de Fase Baixa (A)	Relé de Terra Baixa (A)
Carga	Máx. - 63,3 Nom. - 52,3 Mín. - 49,4	-	627, 55	-
Curto 3 Ø na Alta Entre Relé e Trafo	4. 183, 7	-	-	-
Curto Ø-T na Alta Entre Relé e Trafo	3.719, 0	3.487, 0	-	-
Curto Ø-T na Alta Entre Sistema e Relé	116, 0	347, 6	-	-
Curto 3 Ø na Baixa	416, 7	-	5. 040, 6	-
Curto Ø T na Baixa	429, 0	147, 5	6 .832	6. 832

2.2.3. Determinação dos ajustes do relé de sobrecorrente

Pelos dados do problema temos:

Relé de fase - tipo ICM 2 H
TAPs - 4 - 5 - 6 - 8 - 10 - 12 - 16A
Inst. - 2,5 - 3 - 4 - 5 - 6 - 8 - 10
(XI_N) ou bloqueado
TC - 50/5 => RTC = 10

Relé de terra - tipo ICM 2 H
TAPs - 0,8 - 1,0 - 1,2 - 1,6 - 2,0 - 2,4 - 3,2 (A)
Inst. - 2,5 - 3,0 - 4,0 - 5,0 - 6,0 - 8,0 - 10
(XI_N) bloqueado

a) Ajustes dos relés de fase

Condições:

1. Os relés de fase não devem partir para a corrente de carga máxima. Logo, o TAP a ser escolhido para os relés de fase será 8 A. pois nestas condições o relé só partirá para TAP x RTC = 8 x 50/5 = 80 A, que é superior à corrente máxima de carga possível, ou seja, 63,3 A ≅ 63 A.

2. Os relés de fase devem ser capazes de operar para os defeitos na baixa tensão, ou seja, 416,7 A (3Ø) ou 429 (Ø-T), com um tempo de aproximadamente 0,8 seg.

3. Os relés de fase devem ser insensíveis para defeitos fase-terra no sistema, ou operar com um tempo elevado, a fim de evitar descoordenação com os relés de linha. No presente caso, esta corrente é de 116 A.

Uma vez impostas estas condições, é simples determinar os ajustes, pois:

$$\frac{416,7}{TAP \times RTC} = \frac{416,7}{8 \times 10} = 5,21 \times I_{TAP}$$

$t = 0,8$ seg

$\Rightarrow$ da curva do relé TL = 20%

$$\frac{429}{TAP \times RTC} = \frac{429}{8 \times 10} = 5,36 \times I_{TAP}$$

$t \cong 0,8$ seg

$\Rightarrow$ da curva do relé TL = 20%

Verificando os ajustes de TAP = 8,0 A e TL = 20%, para as demais correntes observamos que:

$$\frac{116}{8 \times 10} = 1,44 \times I_{TAP}$$

e para TL = 20%, obtemos da curva um tempo de atuação de aproximadamente 3,7 seg (o que satisfaz a condição 3).

$$\frac{4184}{80} = 53,2 \times I_{TAP}$$

$$\frac{3719}{80} = 46,5 \times I_{TAP}$$

Estas correntes são maiores que 20 x I_{TAP}. Os relés de fase deverão operar com um tempo de 0,45 seg, o que propiciará proteção de retaguarda para o relé diferencial.

Pelas características do relé, o ajuste máximo do elemento instantâneo é de 10 x I_{TAP} = 800 A.
O elemento instantâneo pode ser bloqueado ou ajustado para 10 x I, sem descoordenação.
No caso atual, optaremos pelo bloqueio, mantendo-o como proteção de retaguarda do diferencial.
Portanto, os ajustes do relé de fase são:

TC = 50/5

TAP = 8,0 A

TL = 20%

INST = bloqueado

CARGA MÁXIMA = 80 A

b) Ajuste do relé de terra

Condições:

1. O relé de terra deverá operar para curto Ø-T no sistema com tempo aproximado de 1,0 seg.

2. Deverá operar como proteção de retaguarda do relé diferencial e alimentadores, para curto Ø-T na baixa.

Adotando-se o TAP = 2A e sendo o TC = $\frac{50}{5}$ temos:

Para atender a condição 1:

$$\left.\begin{array}{l} \dfrac{347,6}{2 \times 10} = 17,4 \times I_T \\ t = \pm\ 0,8 \end{array}\right\} \Rightarrow \begin{array}{l} TL = 35\% \text{ ou} \\ TL = 40\% \end{array}$$

Para atender a condição 2:

$$\frac{147,5}{2 \times 10} = 7,4 \times I_{TAP}$$

$$\begin{cases} TL = 35\% & t = 1,2 \text{ seg} \\ TL = 40\% & t = 1,4 \text{ seg} \end{cases}$$

Será adotado: TAP = 2
TL = 40%

Nestas condições, para curto no sistema, o relé só operará após 0,95 seg e para curto do lado 11,5kV o tempo de operação será 1,4 seg. O elemento instantâneo será bloqueado pois, caso contrário, o relé operaria instantaneamente para faltas no sistema, causando descoordenação com as proteções de LTs.

Ajustes finais do relé de terra:

TC = 50/5 A	TL = 40%
TAP = 2,0 A	Inst = bloqueado

08.2. Exemplo 2

Dado o esquema unifilar da subestação e os seguintes dados:

1. Impedância de seqüência positiva equivalente do sistema:

$$Z_{ps} = 0,1689 \angle 76,7^{o} \text{ pu}$$

2. Impedância de seqüência zero equivalente do sistema:

$$Z_{OS} = 0,2751 \angle 77,9^{o} \text{ pu}$$

3. Impedância do transformador:

$$Z_{p} = 1,5350 \angle 90^{o} \text{ pu}$$

$$Z_{0} = 1,5350 \angle 90^{o} \text{ pu}$$

4. 3TC 1 : 50 - 100/5 - 5A

5. 3TC 2 : 300 - 600/5 - 5A

6. 3TC 3 : 100 - 200 - 300 - 400 - 600/5 - 5A

7. 3TC 4 : 100 - 200 - 300 - 400 - 600/5 - 5A

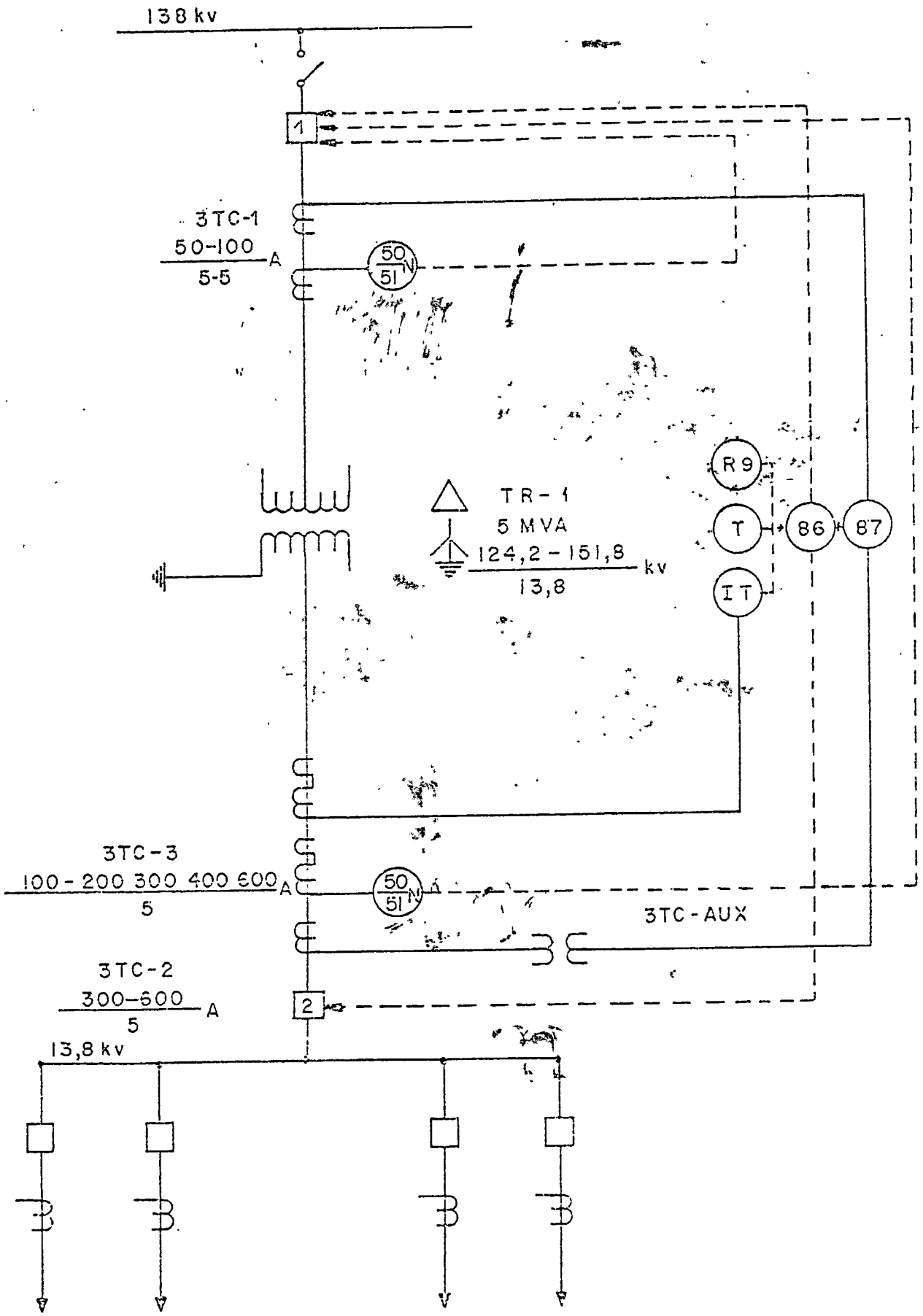
8. 3TC AUX: 2,520/6,3 A - 3,143/8,8 A

9. 87 : relé diferencial tipo RYDSA - 20 - ASEA

10. 51 : relé de sobrecorrente tipo CDG31 - ENGLISH ELETRIC - faixa (4 - 16A)

11. 51N : relé de sobrecorrente tipo CDG 11 - ENGLISH ELETRIC - faixa (0,5 - 2,0 A)

Pede-se: a) Determinar o tipo de conexão dos TCs
b) Ajustar as proteções


138 kv
1
3TC-1
50-100
5-5
A
50
51
N
R 9
T
86
87
IT
TR-1
5 MVA
124,2 - 151,8
13,8
kv
3TC-3
100 - 200 300 400 600
5
A
3TC-AUX
3TC-2
300-600
5
A
2
13,8 kv

Solução:

a) Tipo de conexão dos TCs

A análise do diagrama unifilar da subestação mostra que as proteções de sobrecorrente e diferencial estão conectadas nos 3TC-1, que possuem dois enrolamentos por fase.
Devido ao tipo de conexão do enrolamento do transformador de força ser em delta, no lado 138 kV, as conexões dos enrolamentos dos TCs auxiliares deverão ser em estrela aterrada para a proteção diferencial.
Nota-se que a proteção de sobrecorrente da alta do trafo é constituída de 3 relés de sobrecorrente de fase, não sendo utilizado o relé de terra (ou neutro), e a conexão do TC pode ser estrela ou delta, preferindo-se estrela, devido à menor corrente para o relé 50/51 em condições normais de carga.
Qualquer defeito fase-terra, entre o TC do relé de sobrecorrente e o trafo, estará dentro da zona de proteção do relé diferencial, servindo os relés de sobrecorrente de fase como proteção de retaguarda do relé diferencial. Qualquer defeito fase-terra entre o sistema e o TC do relé de sobrecorrente não terá contribuição do enrolamento de alta do trafo, pois a conexão é em delta, o que bloqueia as correntes de seqüência zero.
Os 3TCs - 1 dispõem das seguintes relações de transformação: 50/5A e 100/5 A.
Como a potência nominal do trafo é de 5 MVA, a corrente nominal será:

Lado 138 kV

$$I_N = \frac{5.000 \text{ kVA}}{\sqrt{3} \cdot 138 \text{ kV}} = 20,919 \cong 21 \text{ A}$$

Lado 13,8 kV

$$I_N = \frac{5.000 \text{ kVA}}{\sqrt{3} \cdot 138 \text{ kV}} = 209,19 \cong 209 \text{ A}$$

Logo, o TC deverá ser conectado na relação 50/5A (0,42 x In).

Pelos motivos já mencionados nos itens anteriores, a conexão para a proteção diferencial é estrela aterrada com relação 50/5A.

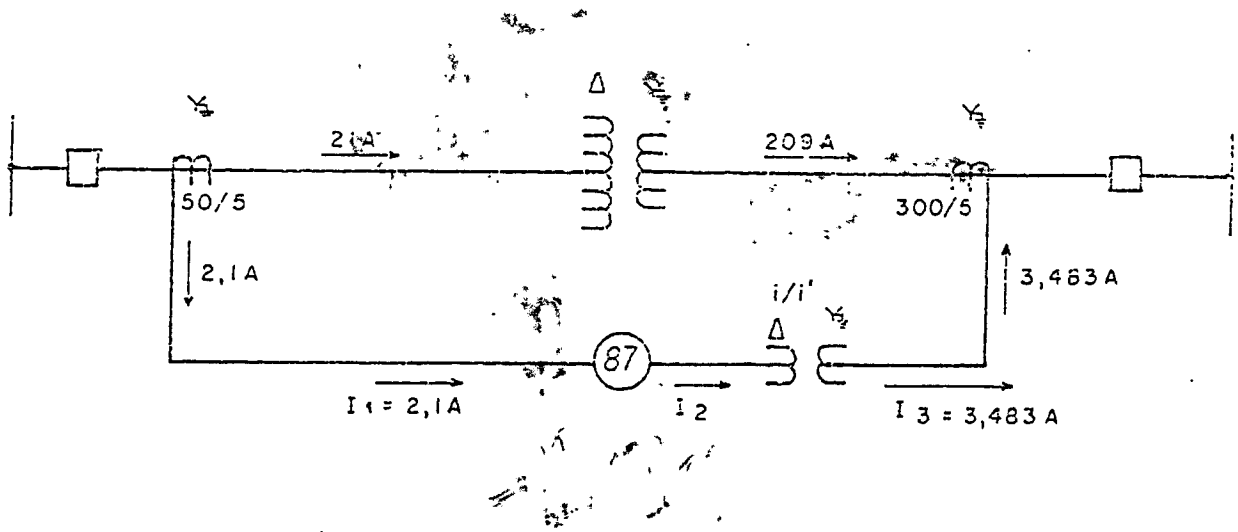
No lado da baixa do trafo, os TCs - 2 possuem duas relações 300/5A e 600/5A. A corrente de carga é 209A e a relação destes TCs deverá ser 300/5A.

Sendo a conexão do trafo de potência em delta/estrela e considerando a existência de 3TCs aux, deve haver uma conexão em delta ou nos 3TCs 2, ou nos 3TCs aux.

Vamos fazer estrela aterrada nos 3TCs - 2 e estrela aterrada/delta nos 3TCs aux.

Os 3TCs aux. são necessários, considerando que os módulos das correntes comparadas no relé diferencial são diferentes e o relé tipo RYDSA - 20 não possui transformadores internos para a correção necessária.

Determinação da relação de transformação dos 3TCs aux.

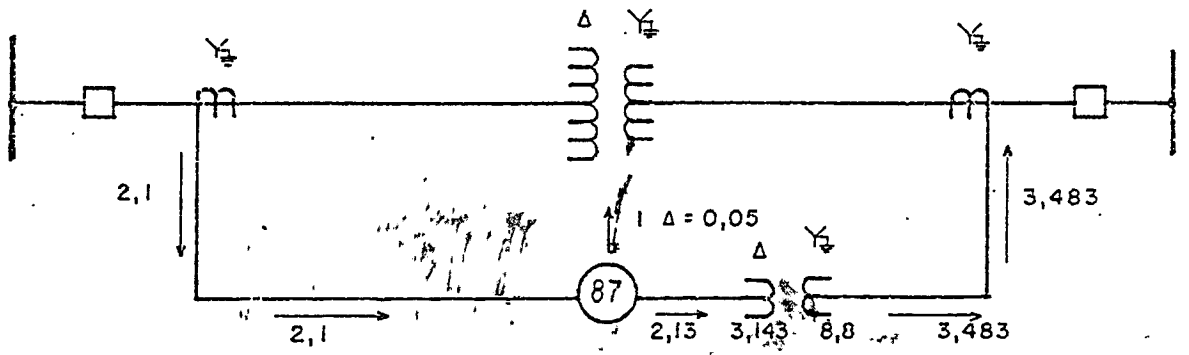


I2 deve ser aproximadamente igual a I1, donde:

$$\frac{i'}{i \times \sqrt{3}} = \frac{I3}{I2} = \frac{3,483}{2,1} = 1,658$$

$$\frac{i'}{i} = 1,658 \times \sqrt{3} = 2,873$$

A relação 8,8/3,143 = 2,8 pode ser adotada, sendo 8,8A (estrela) do lado do TC principal e 3,143A (delta) do lado do relé.
Donde:



b) Ajustes das proteções

b.1. Relé diferencial

O relé diferencial RYDSA-20 da ASEA, possui um único ajuste ID/IN, onde ID é a corrente diferencial e IN é a corrente nominal do relé. Os ajustes possíveis são: 20%, 32%, 40% e 50%. Segundo o fabricante, quando o transformador de potência possui relação de transformação fixa, é possível usar um ajuste de corrente 20% de IN, ou 25% de IN.
Considerando, porém, vários "taps" de tensão no transformador de potência, por exemplo ± 15% ou ± 20%, o ajuste recomendado é de 32% ou de 40% no relé RYDSA-20.

No presente caso tem-se:

$$\Delta I = 2,15 - 2,10 = 0,05$$
$$\Sigma I = 2,15 + 2,10 = 4,25$$
$$\Sigma I/2 = 2,125$$

Erro na relação:

$$Va = \frac{0,05}{2,125} = 0,023 \Longrightarrow Va\% = 2,3\%$$

Erros dos TCs:

$$Vb\% = 15\% \qquad (TC\text{-}1 = TC\text{-}2 = 5\% \text{ e } TC\text{-}AUX = 5\%)$$

Erro devido aos TPs do transformador:

$$Vc = \frac{Imáx - Iméd}{Iméd}$$

$$Imáx = \frac{5000}{124,2 \times \sqrt{3}} = 23,24 \text{ A}$$

$$Imín = \frac{5000}{151,8 \times \sqrt{3}} = 19,02 \text{ A}$$

$$Iméd = \sqrt{Imax \times Imed} = \sqrt{23,24 \times 19,02} = 21,02 \text{ A (média geométrica)}$$

$$Vc = \frac{23,24 - 21,02}{21,02} = 0,1056$$

$$Vc\% = 10,6\%$$

Erro total, considerando tudo desfavorável:

$$VT\% = Va + Vb + Vc = 2,3 + 15 + 10,6 = 27,9\%$$

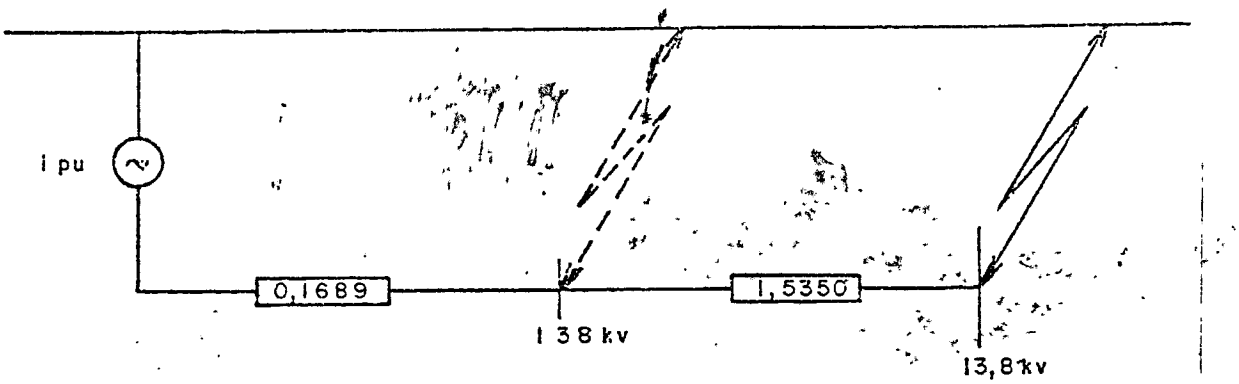
De acordo com a faixa de ajustes no relé, vamos adotar:

$$\frac{ID}{IN} = 32\%$$

b.2. Ajustes das proteções de sobrecorrente

b.2.1. Cálculo de curto-circuito trifásico

Com os dados de impedância fornecidos, podemos montar o diagrama de seqüência positiva abaixo:



Curto no lado 138 kV

$$I_{3\emptyset} = \frac{1}{0,1689} = 5,921 \text{ pu}$$

$$I_{3\emptyset} = 5,921 \times I_{base} = 2.477 \text{ A}$$

$$I_{3\emptyset} = 2.477 \text{ A}$$

Curto do lado 13,8 kV

$$I_{3\emptyset} = \frac{1}{0,1689 + 1,5350} = 0,5869 \text{ pu}$$

$$I_{3\emptyset} = 0,5869 \times I_{base} = 2.455 \text{ A}$$

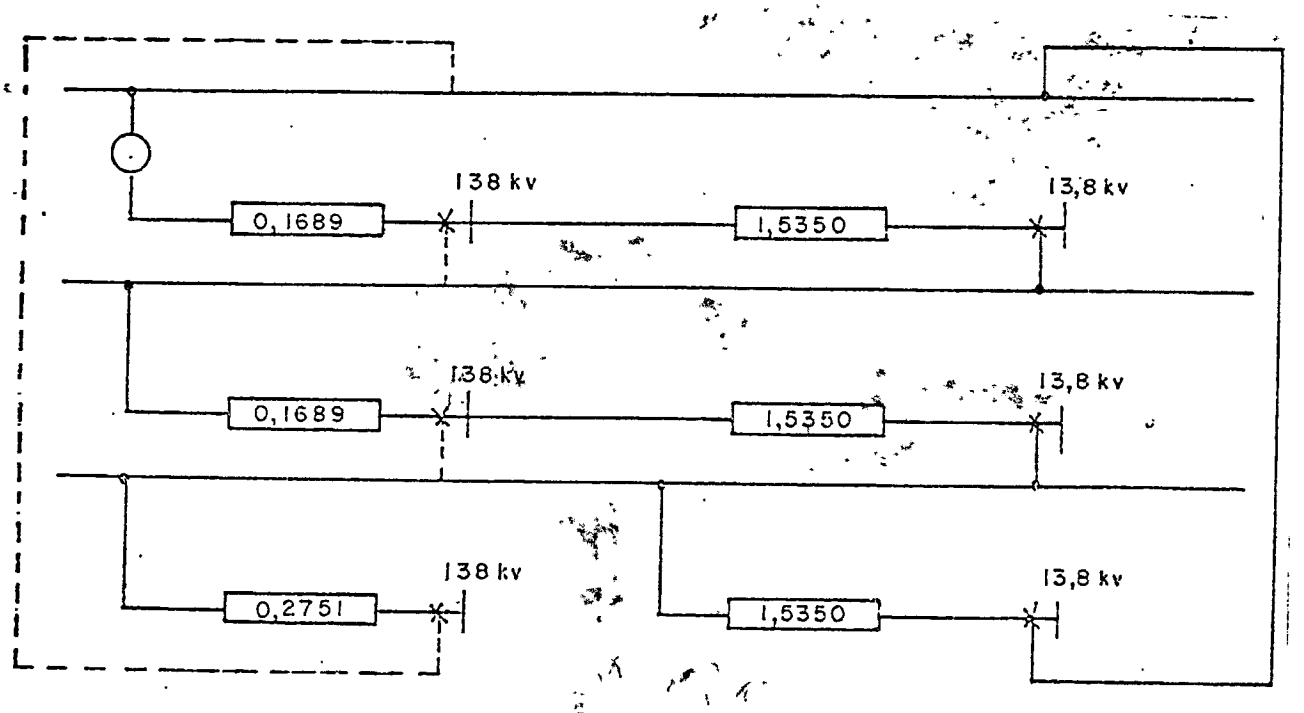
$$I_{3\emptyset} = 2.455 \text{ A}$$

Corrente do lado 138 kV, para curto-circuito trifásico do lado 13,8 kV:

$$I_{3\emptyset} = 0,587 \times I_{base} = 245,59$$

$$I_{3\emptyset\ 138kV} = 246\ A$$

b.2.2. Cálculo de curto-circuito fase-terra



Curto no lado 138 kV (.....)

$$i_o = \frac{1}{(2 \times 0,1689) + 0,2751} = 1,6316\ pu$$

$$3_{io} = 4,8948\ pu$$

$$I' = 4,8948 \times I_{base} = 2.048\ A$$

$$I' = 2.048\ A$$

Curto no lado 13,8 kV (.....)

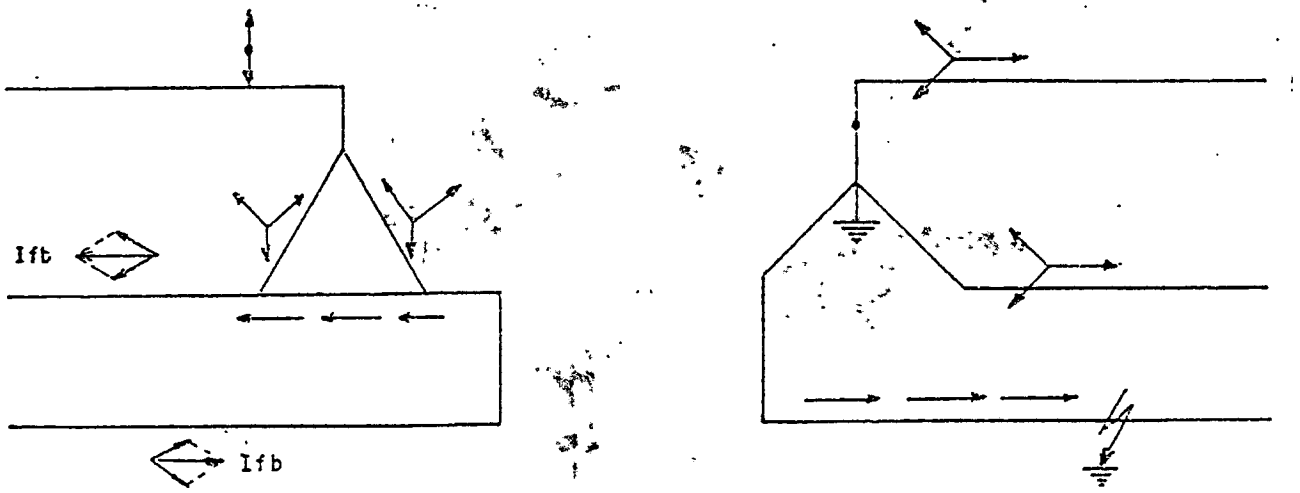
$$i_o'' = \frac{1}{2(0,1689 + 1,5350) + 1,5350} = 0,2023 \text{ pu}$$

$$3i_o'' = 0,6069 \text{ pu}$$

$$I'' = 0,6069 \times I_{base} = 2539 \text{ A}$$

$$I'' = 2.539 \text{ A}$$

Corrente nas fases boas para um curto-circuito fase-terra na baixa:



$$I_{fb} = 3 \times i_o' = 0,3504 \text{ pu}$$

$$I''' = 0,3504 \times I_{base}$$

$$I''' = 146 \text{ A}$$

Tabela resumo

	Pelo Relé de Fase Alta	Pelo Relé de Terra Alta	Pelo Relé de Fase Baixa	Pelo Relé de Terra Baixa
Carga	IC Máx. 24,23 IC Nom. 21 IC Mím. 19,02	-	209	-
Curto 3Ø Entre Relé e Trafo Alta	2,477	-	-	-
Curto ØT Entre Relé e Trafo Alta	2.048	2.048	-	-
Curto ØT Entre Sistema e Relé Alta	-	-	-	-
Curto 3Ø Baixa	246	-	2.455	-
Curto ØT Baixa	147	-	2.539	2.539

(*) Não existe tal relé (vide diagrama unifilar).

NOTAS

Para o relé de fase da alta:

1) Este é "BACK-UP" do relé diferencial para qualquer tipo de falta entre o relé e o trafo (lado da alta).

2) Ainda é o "BACK-UP" do relé diferencial para qualquer tipo de falta na baixa tensão, até o TC desta proteção.

3) Proteção principal para faltas trifásicas entre o TC do diferencial e qualquer TC dos alimentadores do lado da baixa.

4) Finalmente, "BACK-UP" para as faltas trifásicas nos alimentadores.

b.2.3. Determinação dos ajustes dos relés de sobrecorrente

Pelos dados do problema:

Relé de fase: tipo C D G 31
TAPs: 4 - 5 - 6 - 8 - 10 - 12 - 16A
INSTANTÂNEO: 20 - 30 - 40 - 50 - 60 - 70 - 80A

Relé de neutro: tipo C D G 11
TAPs: 0,50 - 0,75 - 1,00 - 1,25 - 1,50 - 1,75 - 2,00A
INSTANTÂNEO: 20 - 30 - 40 - 50 - 60 - 70 - 80A

TC: lado da alta - 50-100/5-5A
TC: lado da baixa - 100 - 200 - 300 - 400 - 600/5-5A

a) Ajuste dos relés de fase

Condições:

1) Os relés de fase não devem partir para a corrente de carga máxima.

Logo, o "tap" a ser escolhido para os relés de fase será 4,0 A, pois, nesta condição, o relé só irá partir para: TAP X RTC = 4,0 x 50/5 = 40A, que é superior à corrente máxima de carga possível, ou seja, 23,24A.

2) Os relés de fase devem ser capazes de operar para defeitos na baixa tensão, vide **Tabela resumo**, com um tempo mais ou menos 0,8 seg (para coordenar com os alimentadores).
Impostas estas condições, os demais ajustes são simples, pois:

$$\frac{246}{RTC} = \frac{246}{10} = 24,6 \text{ A (secundários)}$$

$$\frac{24,6}{TAP} = 6,15 \text{ x p/ tempo imposto} = 0,8 \text{ seg, na curva do relé } *$$

TM = 0,2 tempo = 0,75 seg (OK)

$$\frac{147}{RTC} = \frac{147}{10} = 14,7 \text{ A (secundários)}$$

$$\frac{14,7}{TAP} = 3,7 \text{ x p/ tempo imposto} = 0,85$$

} na curva do relé (anexa)
TM = 0,2
TEMPO = 1,0 seg (OK)

Para curto-circuito na AT entre o relé e o trafo, as correntes nos relés serão:

$$\frac{2477}{10} = 247,7 \text{ A}$$

$$\frac{2048}{10} = 204,8 \text{ A}$$

(*) Vide curva anexa

Para estes tipos de curtos-circuitos, naquele local, os relés de sobrecorrente de fase poderão operar instantaneamente, mantendo a coordenação.
Estes relés atuariam então juntamente com a proteção diferencial (proteção duplicada ou "BACK-UP" instantâneo).
Pode-se ajustar os elementos instantâneos para atuarem com correntes superiores a 20A, sem descoordenação.
Adotemos INST = 60A para garantia, nota:

14,7 < 60A
24,6 < 60A
60A < 247A
60A < 204A

Portanto, os ajustes finais serão:

TC = 50/5 A
TAP = 4,0 A
TM = 0,2
INST = 60 A

b) Ajustes do relé de terra do lado 13,8 kV

Condições:

1) Para uma falta (Ø-T) em qualquer alimentador, próximo da subestação as proteções deste alimentador deverão operar instantaneamente. Então, o relé de sobrecorrente de terra do alimentador geral da baixa funcionará como "BACK-UP" para faltas. Logo, o seu tempo de operação deverá ser de aproximadamente 0,5 seg para um curto-circuito Ø-T na barra 13,8 kV.

2) O relé deverá ser o mais sensível possível, ou seja, deverá ter seu "tap" ajustado no menor valor possível para detetar curtos com alta resistência em alimentadores.

3) A relação do TC escolhida, obedecendo à corrente de carga 209A, é de 300/5. Para esta relação, analisemos o TAP = 0,5A no relé, considerando que o limite térmico para o relé dado pelo fabricante é:

2 x I tap	continuamente
20 x I tap	durante 3 segundos

Sendo o tap = 0,5 A (sensibilidade), vemos que a corrente que circulará pelo relé, para um curto ØT de 2539A, será:

$$\frac{2539}{RTC} = \frac{2539}{60} = 42,3 \text{ A}$$

Para tap = 0,5:

$$\frac{42,3}{0,5} = 84,6 \times I \text{ tap}$$

Observa-se que, mesmo para um tempo pequeno, há possibilidade de queimar a bobina do relé.
Adotemos, então, tap = 1,0 A:

$$\frac{42,3}{1,0} = 42,3 \times I \text{ tap},$$

o que é aceitável para um intervalo de tempo da ordem de 0,6 segundos.
Como o relé é retaguarda para curtos a terra nos alimentadores, para a corrente de 2.539A ou 42,3 x I tap, o tempo de atuação deve ser da ordem de 0,6 segundos.

na curva TM = 0,4 ——————> satisfaz a condição

A faixa do instantâneo vai de 20 a 80A secundários e deve ser ajustado para um valor superior a 42,3A, ou bloqueada. Vamos bloquear, pois não há condição possível de haver corrente superior a 42,3A e o ajuste seria desnecessário.

Impressão: Gráfica CESP
Ilha Solteira/Setembro/1997

Tiragem: 18 exemplares

INFLUÊNCIA HARMÔNICA NA PROTEÇÃO DIFERENCIAL

Parte I

RELES ESTATICOS

Normalmente eletronicos

Em geral respondem a:

- valor de pico
- valor eficaz
- valor medio

da forma de onda de entrada

CESP Companhia Energética de São Paulo

Funcao Senoidal

$$y(t) = a0 + an \cos(nwt + An) + bn \sin(nwt + Bn)$$

Distorcao Harmonica Total

$$THD = \sqrt{(an^2 + bn^2) / (a1^2 + b1^2)}$$

para $n > 1$

754000.7216

CESP Companhia Energética de São Paulo

Valor Eficaz (R.M.S.)

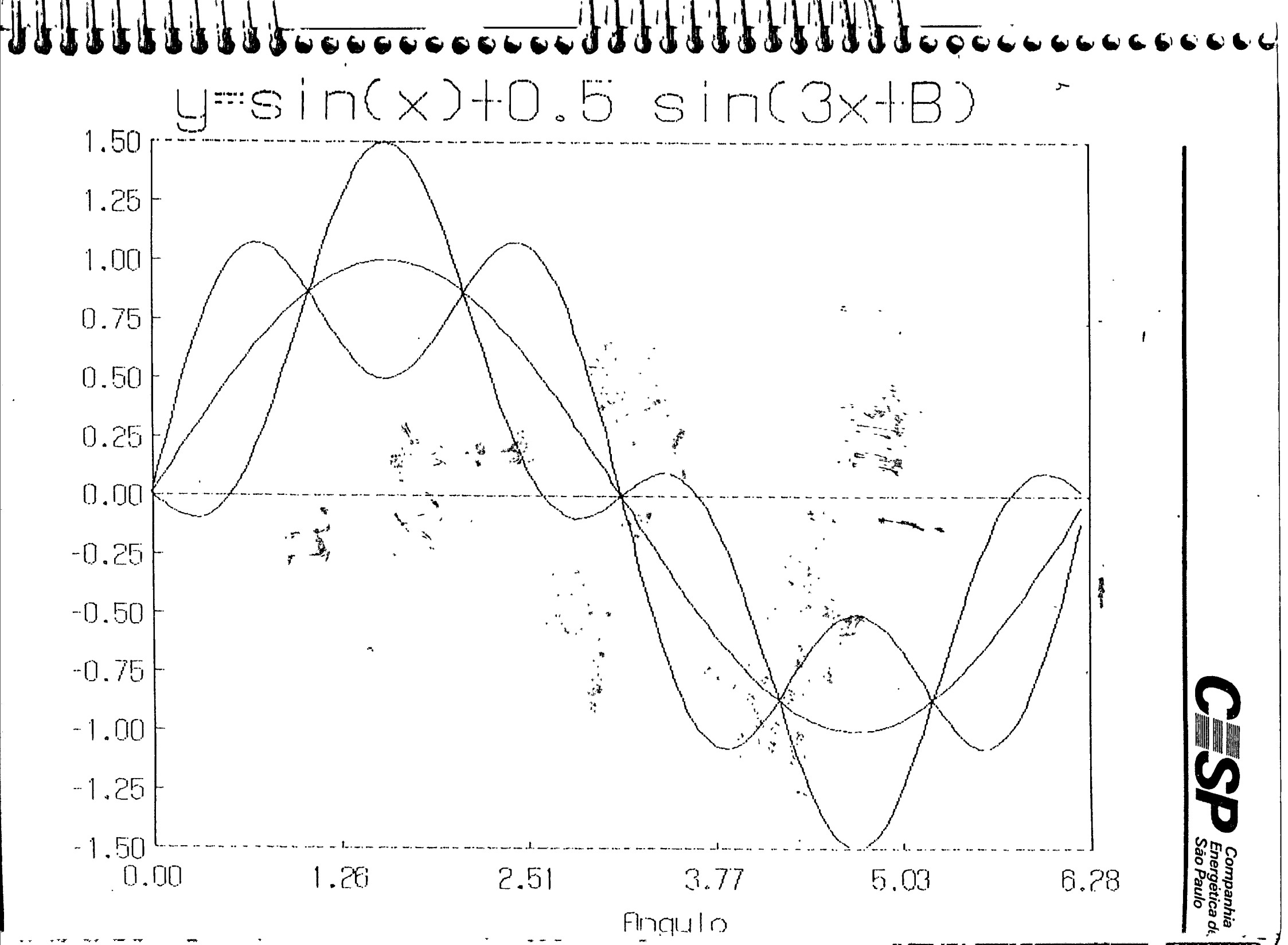
$$Yrms = \sqrt{a0^2 + an^2/2 + bn^2/2}$$

Valor de Pico : $d(Y)/dt = 0$

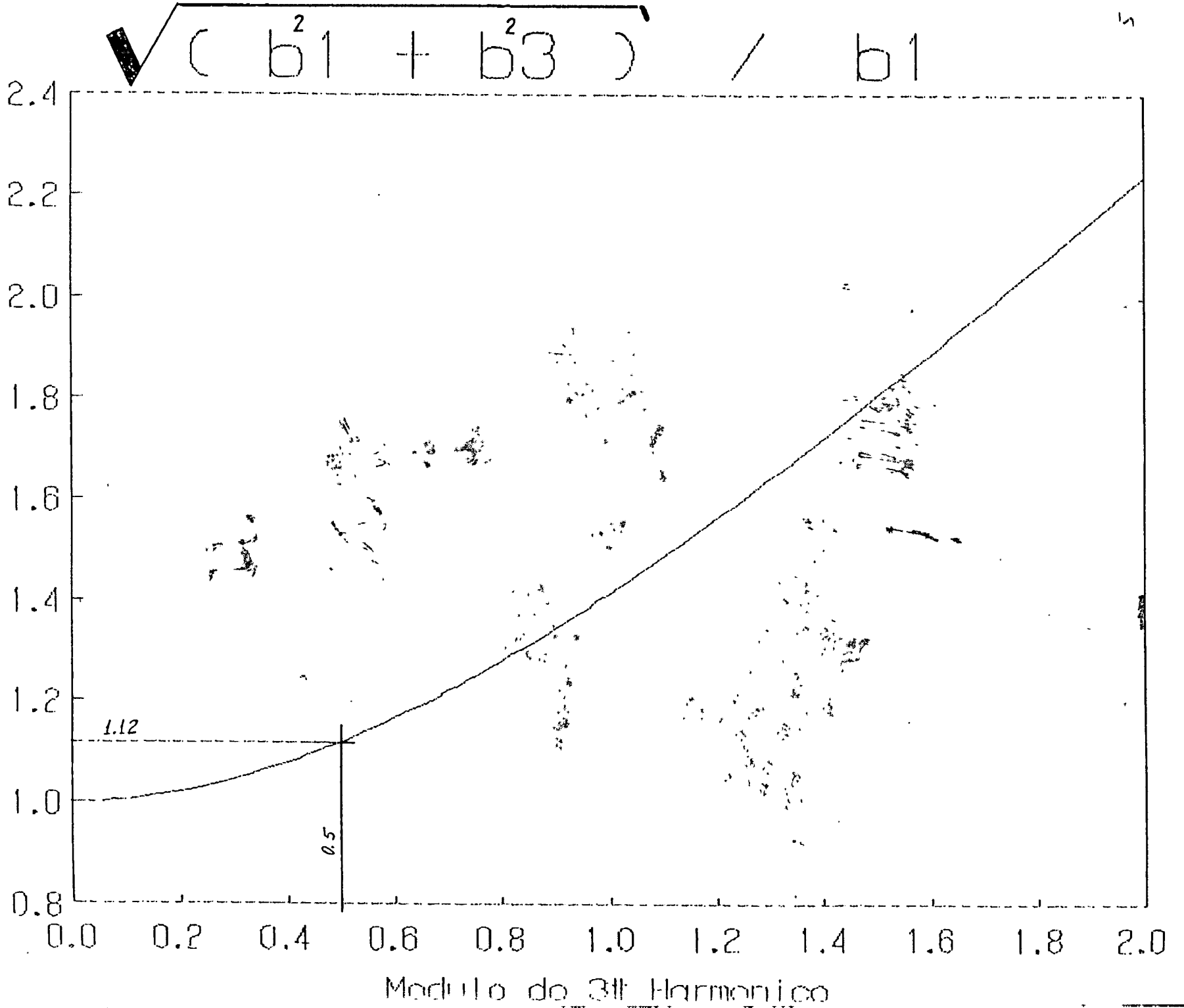
$$y'(t) = -an\,n\,w\,\sin(nwt+An) + bn\,n\,w\,\cos(nwt+Bn)$$

754000.72216

CESP Companhia Energética de São Paulo



CESP Companhia Energética de São Paulo



754000.72216

CESP Companhia Energética de São Paulo

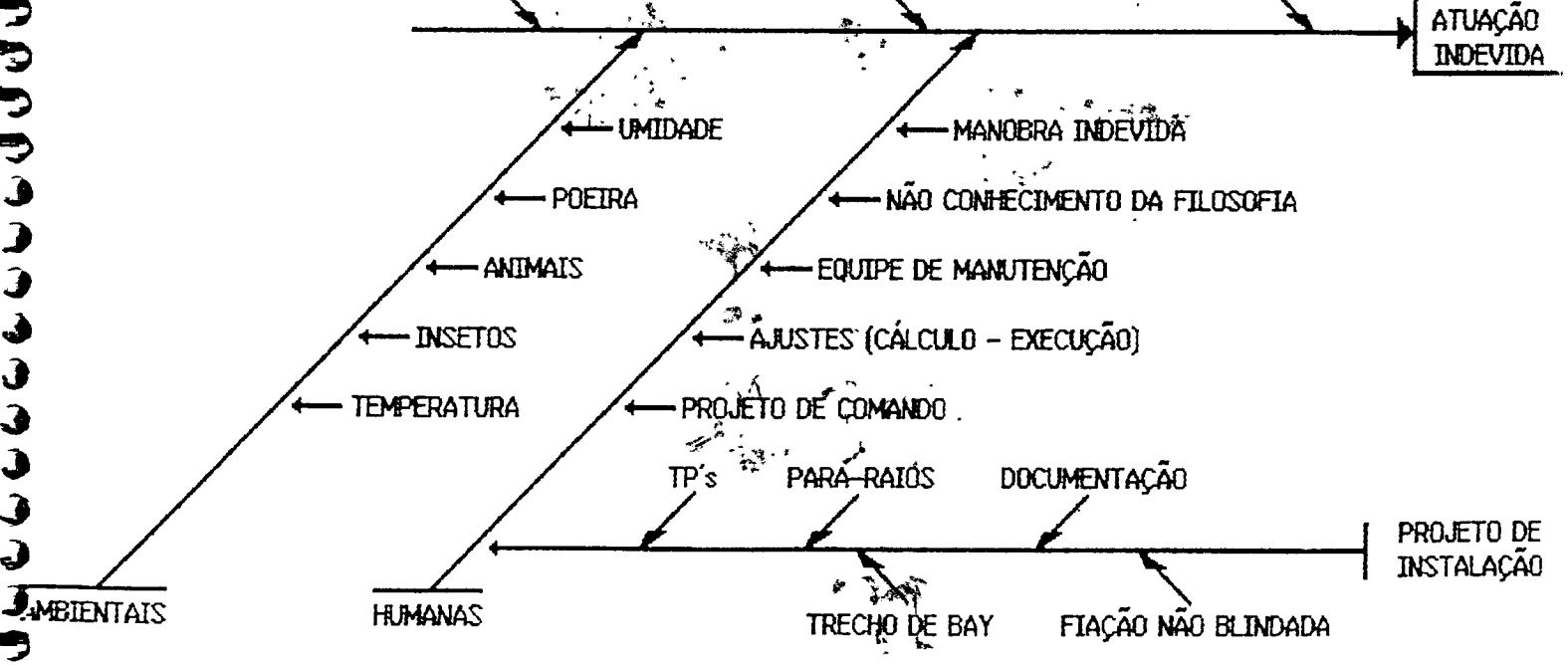
INFLUÊNCIA HARMÔNICA NA PROTEÇÃO DIFERENCIAL

Parte II

DEFINIÇÕES

ATUAÇÃO CORRETA →	DEFEITO DENTRO DA ZONA DE PROTEÇÃO, COM OPERAÇÃO DO RELÉ
RECUSA →	DEFEITO DENTRO DA ZONA, SEM OPERAÇÃO DO RELÉ
INCORRETA →	DEFEITO FORA DA ZONA, COM OPERAÇÃO INDEVIDA DO RELÉ
ACIDENTAL →	DESLIGAMENTO SEM NATUREZA ELÉTRICA

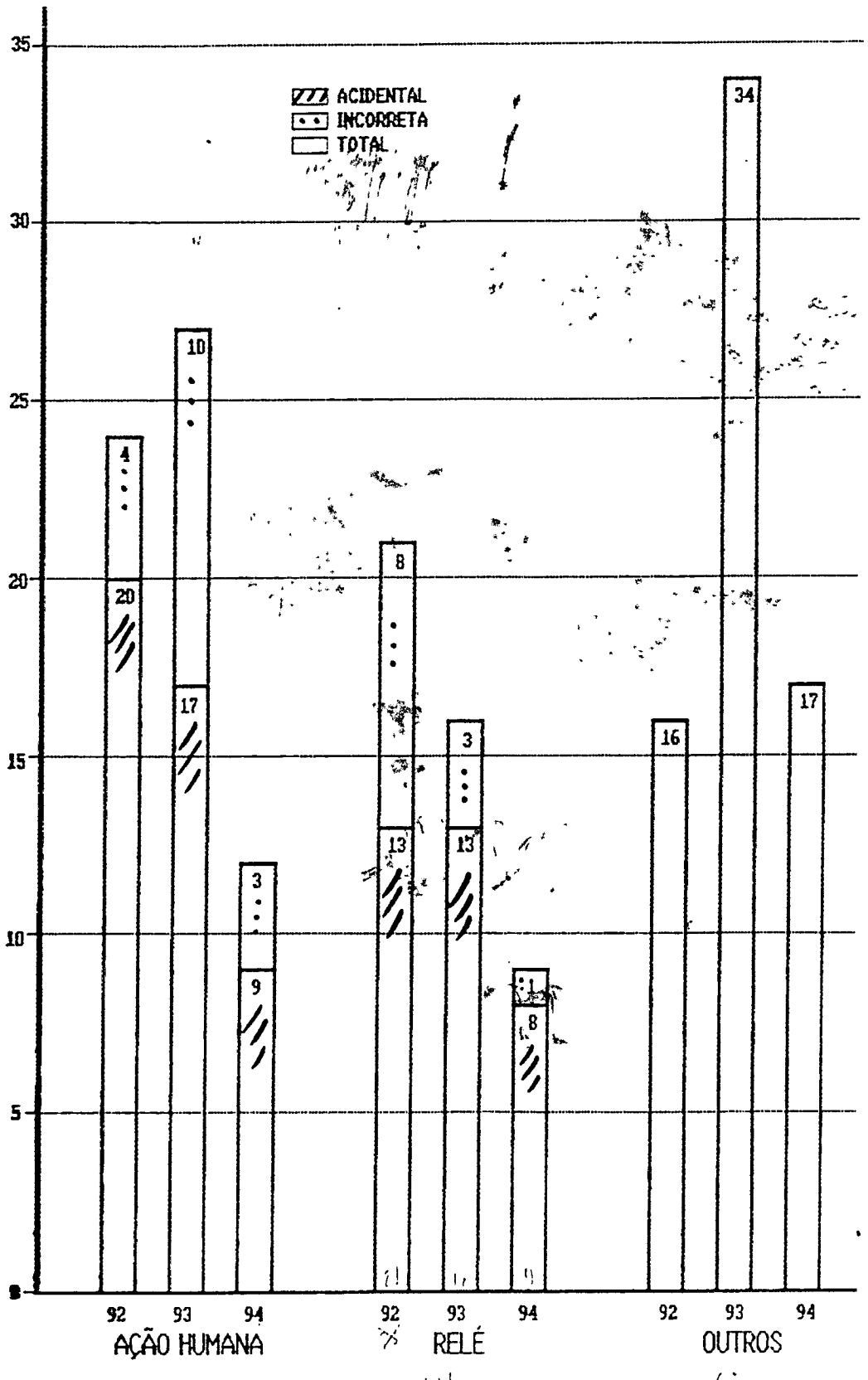
CAUSAS → EFEITO



TR5M12.PML

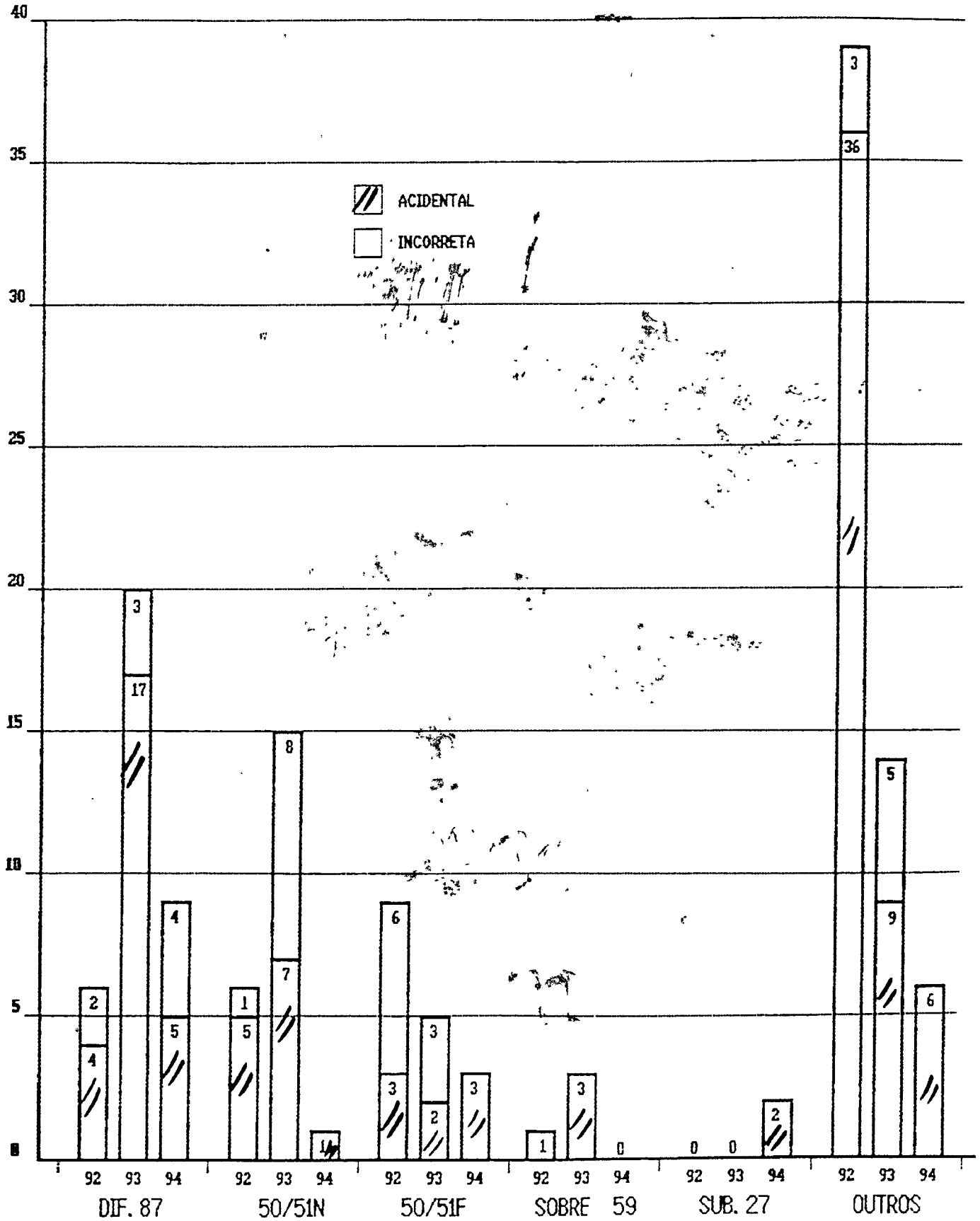
DESLIGAMENTOS POR CAUSA

(DE 92 A JUN/94)



DESLIGAMENTOS POR PROTEÇÃO

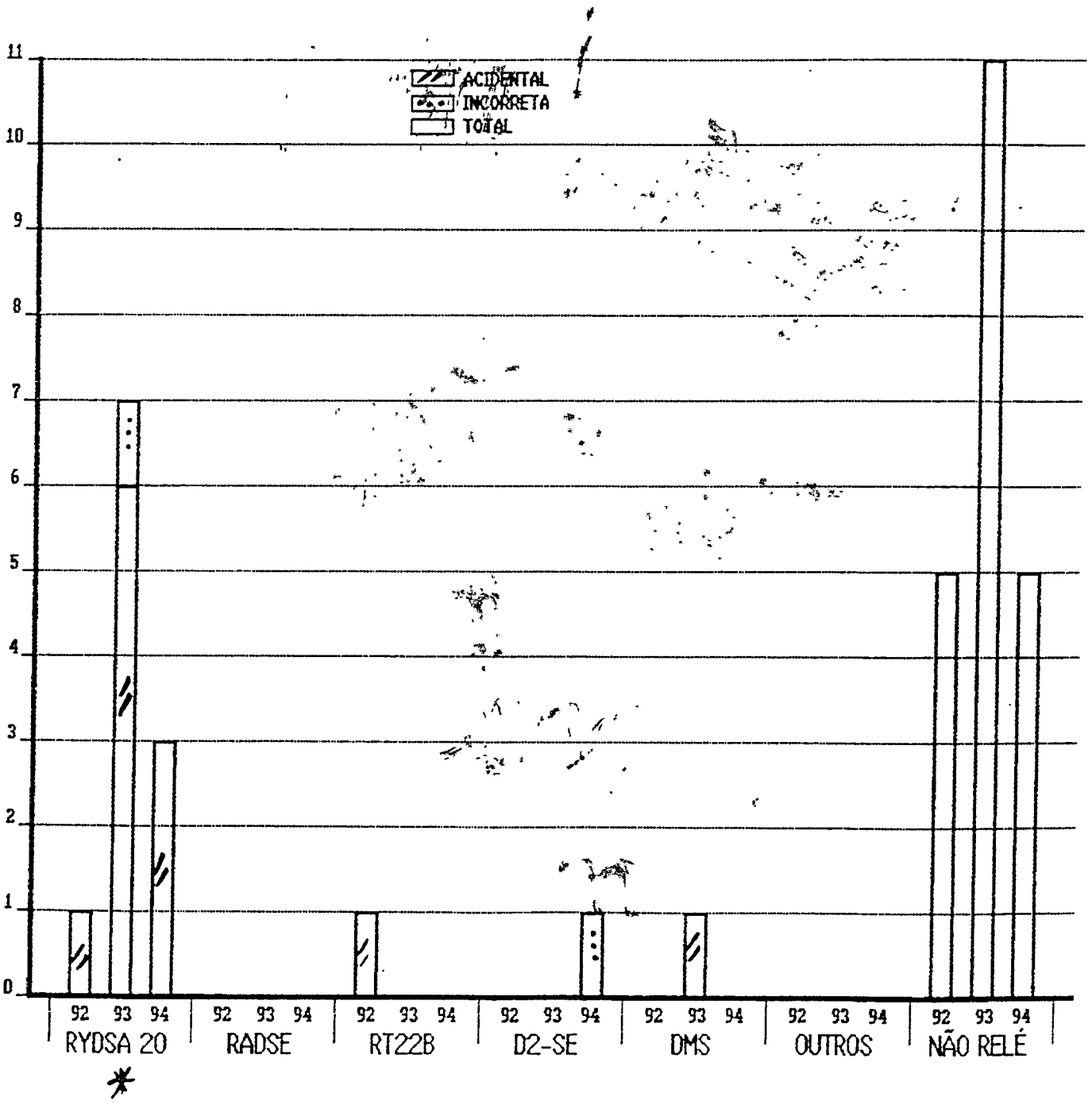
(de 92 a jun/94)



TRSM2.PM

PROTEÇÃO DIFERENCIAL DE TRAFO - DELIGAMENTOS POR RELÉ

(de 92 a Jun/94)

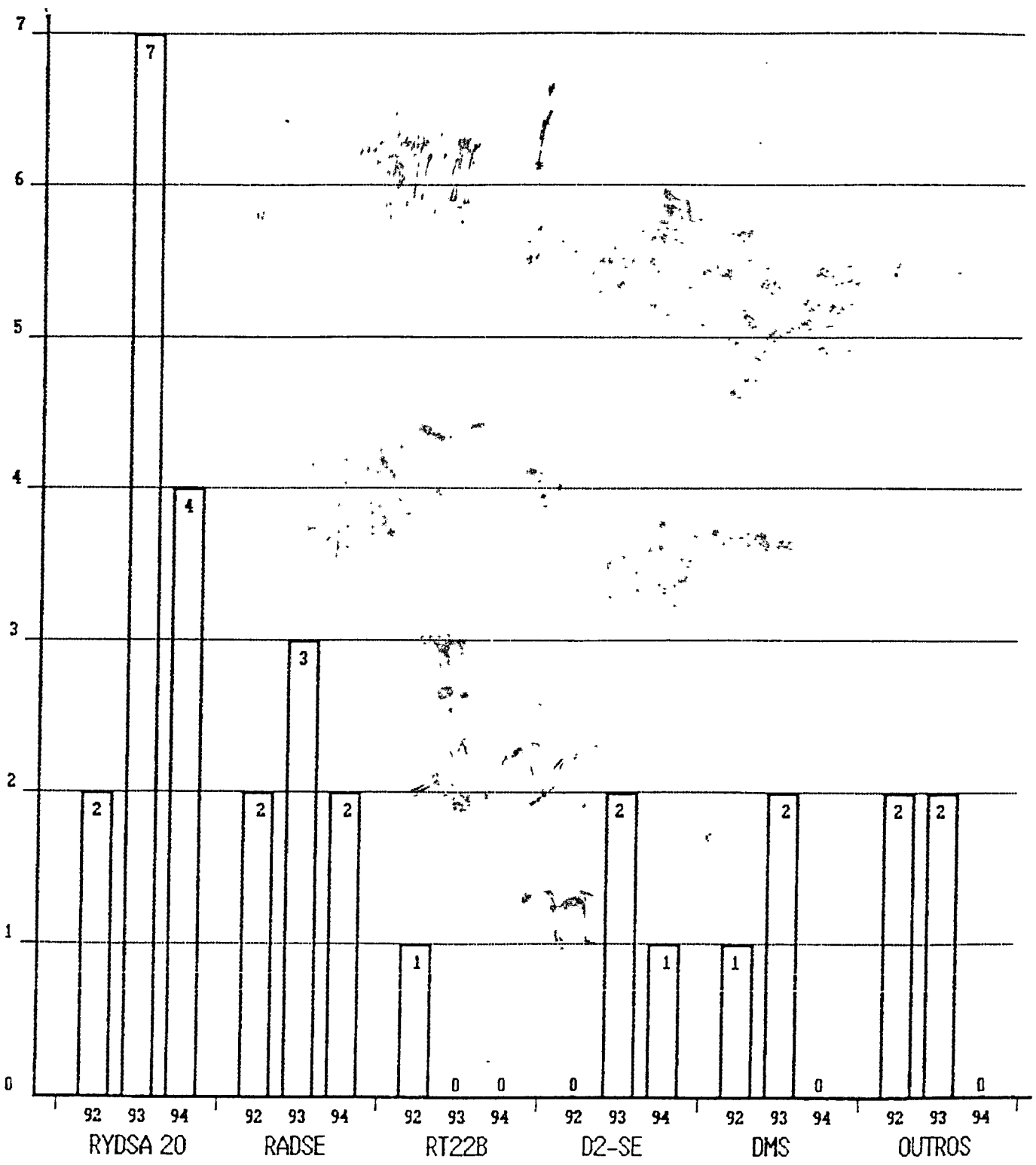


*

PROTEÇÕES: DIFERENCIAL DE TRAFO

ATUAÇÕES CORRETAS

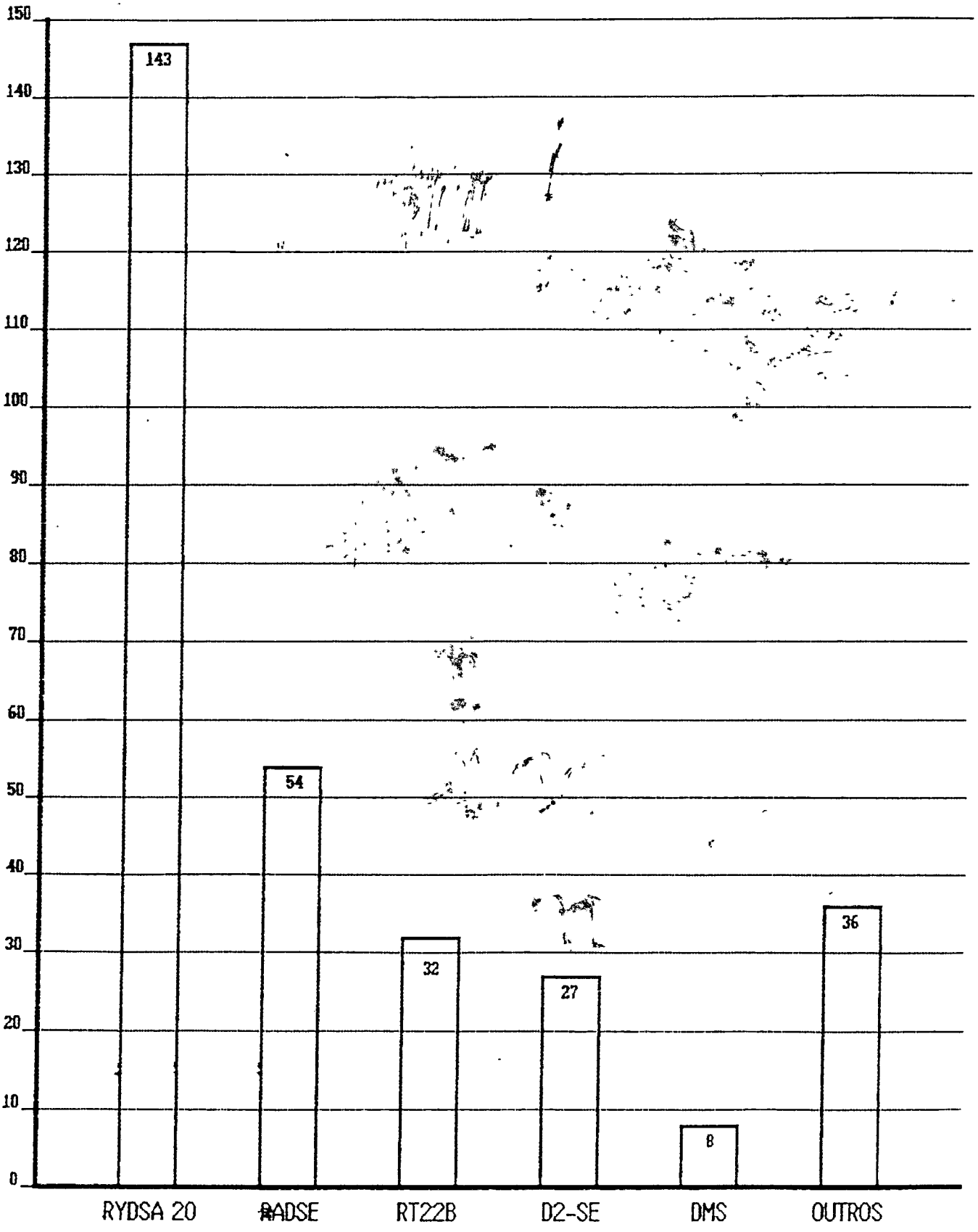
(de 92 a jun/94)



TRSM3.PM:

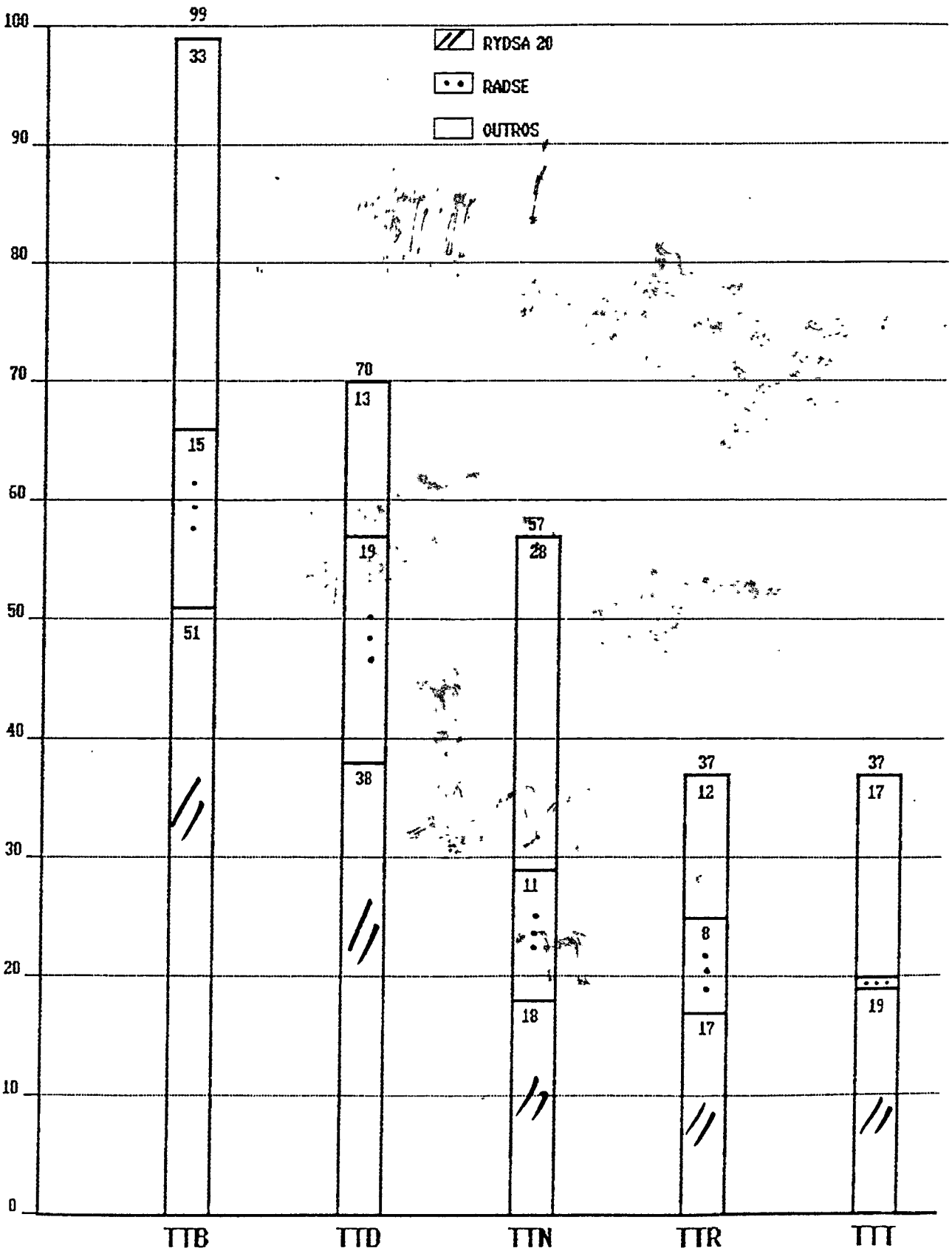
RELÉS DIFERENCIAIS INSTALADOS - DISTRIBUIÇÃO POR TIPO

até Jun/94 - Total = 300



RELÉS DIFERENCIAIS INSTALADOS - DISTRIBUIÇÃO POR GRO

até jun/94 - total = 300

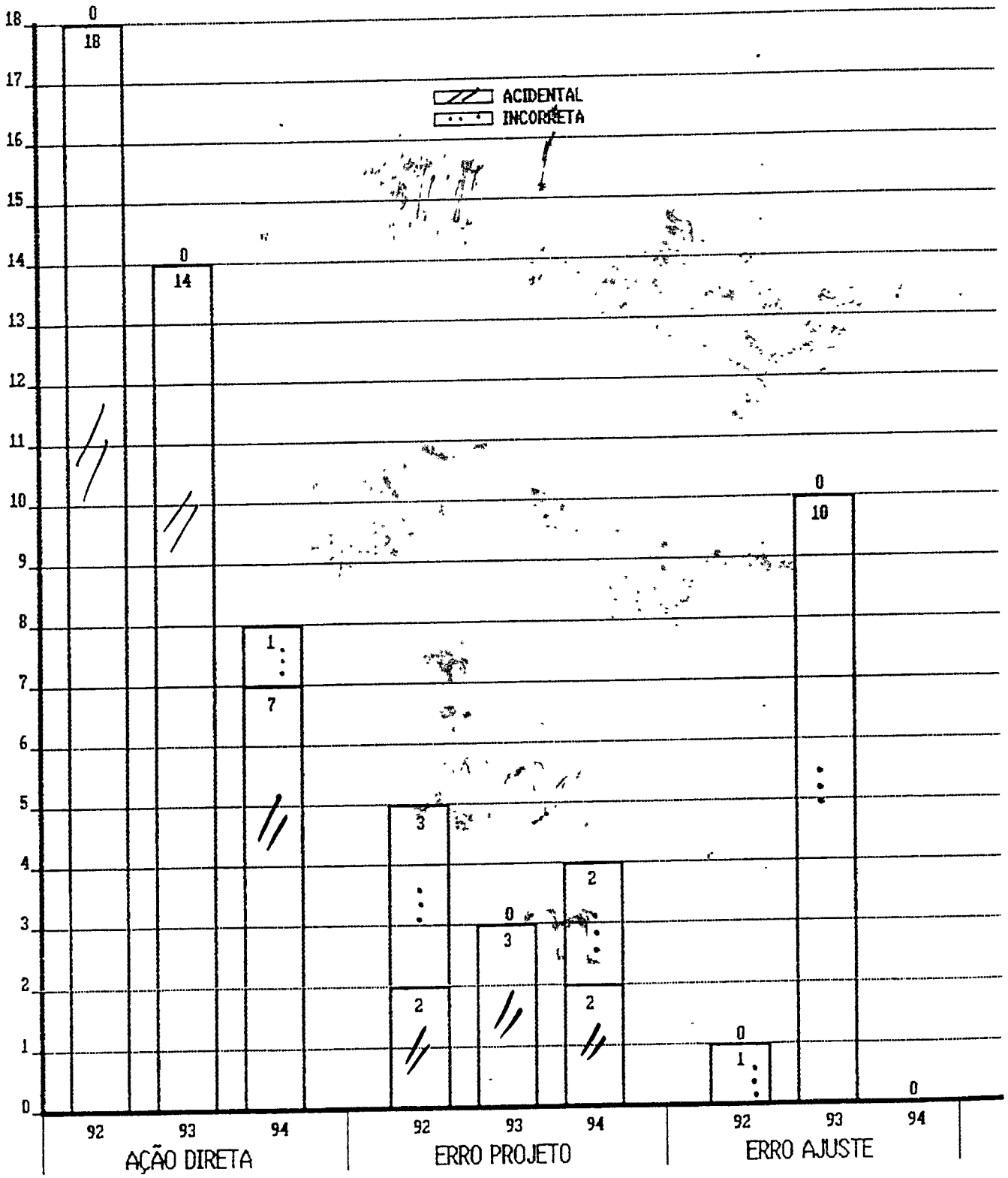


N

TRSM1.P

DESLIGAMENTOS DEVIDO À AÇÃO HUMANA

DISTRIBUIÇÃO POR CAUSA

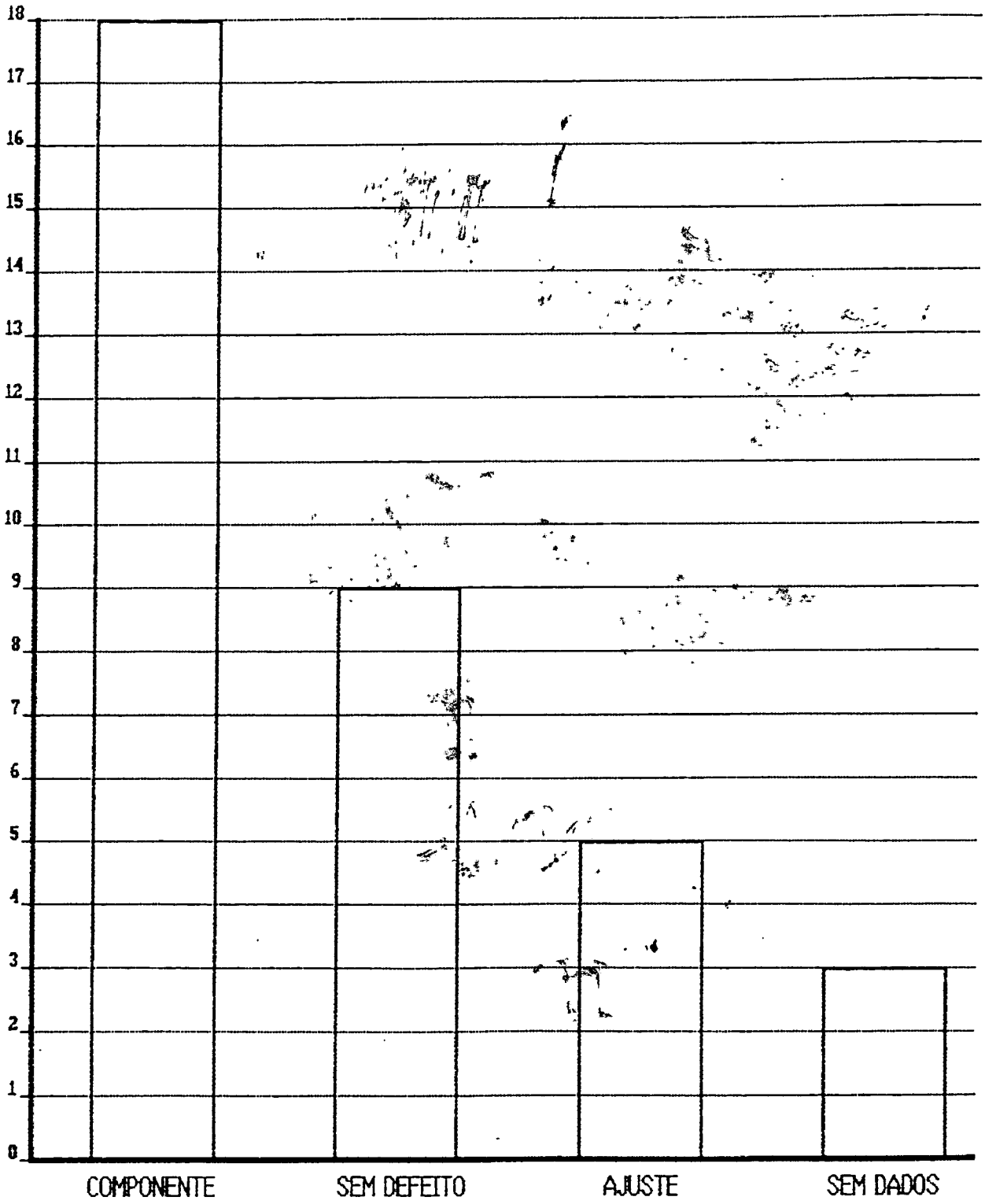


4 12 1

TRSM13.P

RELÉS DIFERENCIAIS PARA CONSERTO

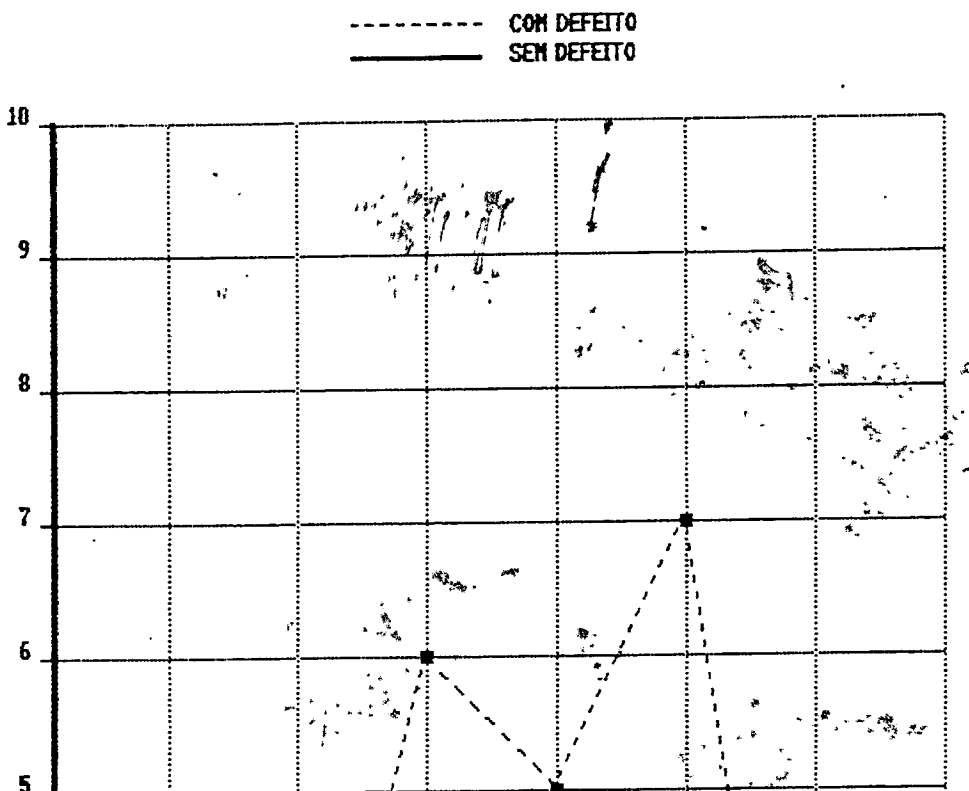
(de 89 a Jun/94)



TRSN7.PNL

RELÊS DIFERENCIAIS PARA CONSERTO

EVOLUÇÃO ATÉ JUN/94



META

REDUZIR EM 15% OS DESLIGAMENTOS DE TRAFOS POR CAUSAS ACIDENTAIS E INCORRETAS.

AÇÕES

TREINAR TODOS ATÉ ABR/95

MANUTENÇÃO PREVENTIVA PERIÓDICA

CARTELAS SUPRESSORAS DE SURTO

DISCUSSÃO COM FABRICANTE

ENSAIOS NOS RELÉS

- PICK-UP / TEMPORIZAÇÃO
- CURVA DE ESTABILIDADE
- REJEIÇÃO HARMONICA
- LIMITAÇÕES DO RELÉ

ENSAIOS / VERIFICAÇÃO NOS ACESSÓRIOS

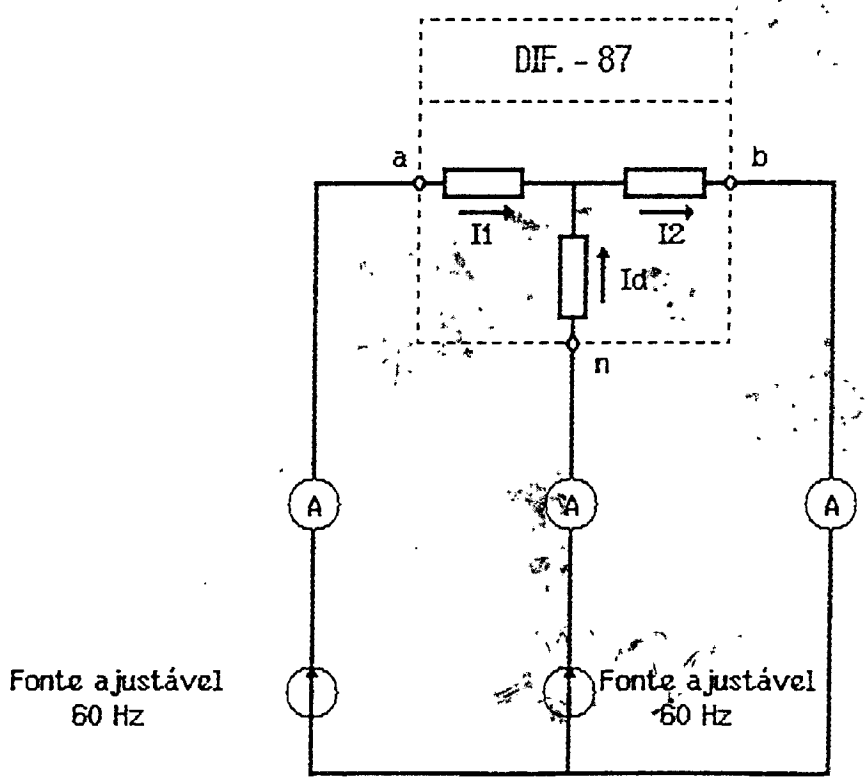
- FIAÇÃO
- TC's E TC AUX's (ERROS, FUGAS, ETC)
- CAIXAS DE PASSAGEM
- POLARIZAÇÃO / ATERRAMENTO

VERIFICAÇÃO GERAL

- LIMPEZA
- CONSERVAÇÃO
- CORROSÃO

RELÉ DIFERENCIAL

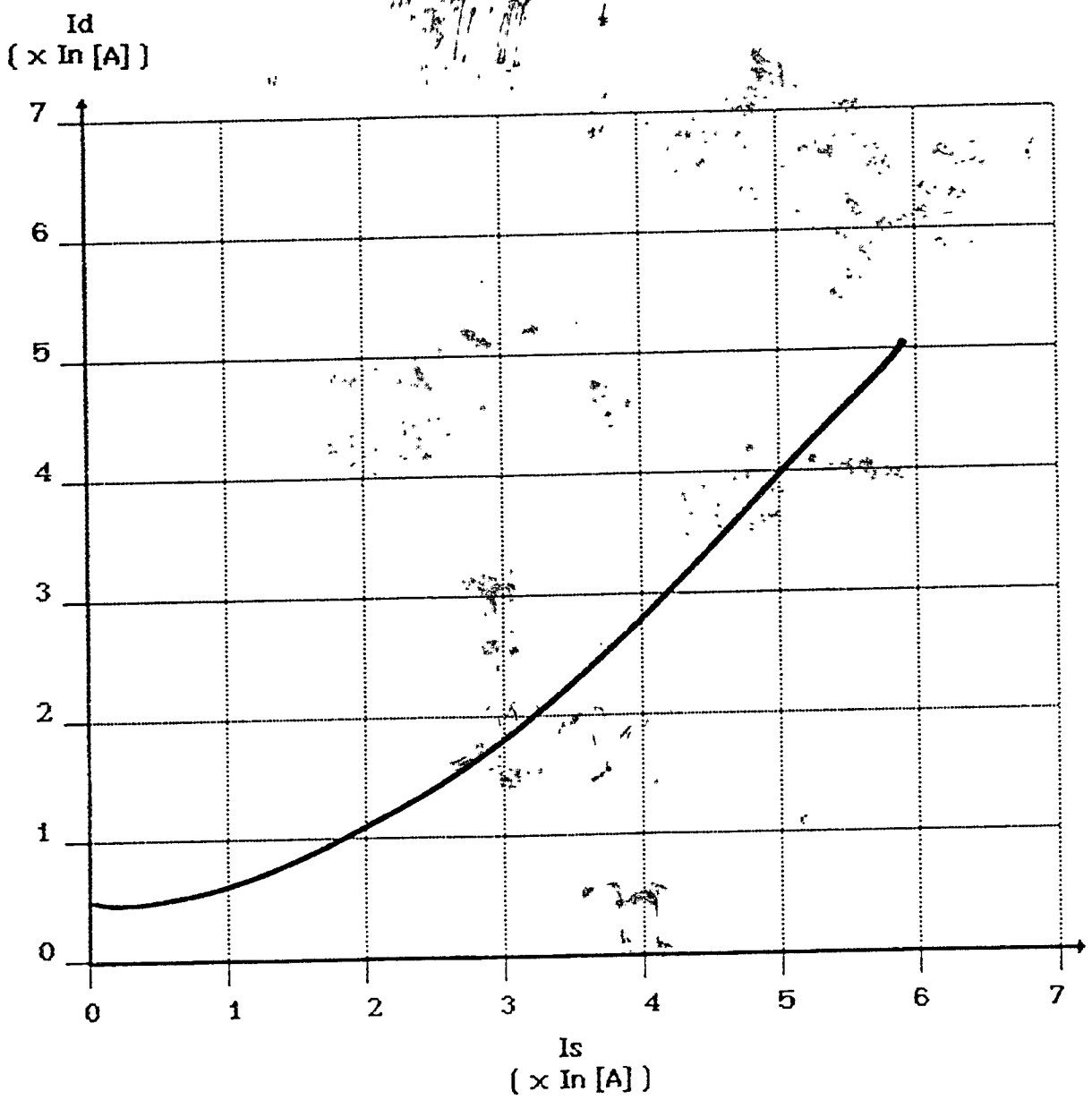
LEVANTAMENTO DA CURVA DE ESTABILIDADE



$$Is = \frac{I1 + I2}{2 \times In} \qquad Id = \frac{I2 - I1}{In}$$

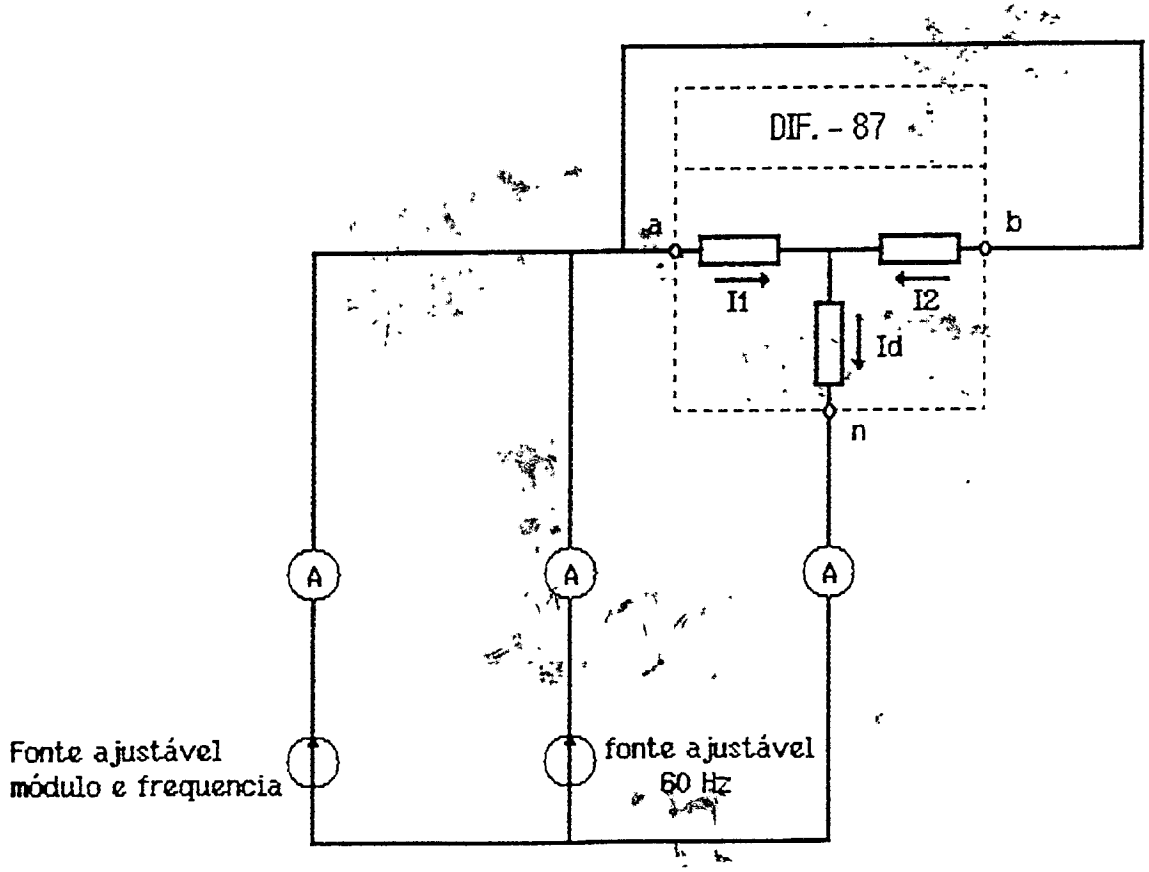
RELÉ DIFERENCIAL

CURVA DE ESTABILIDADE



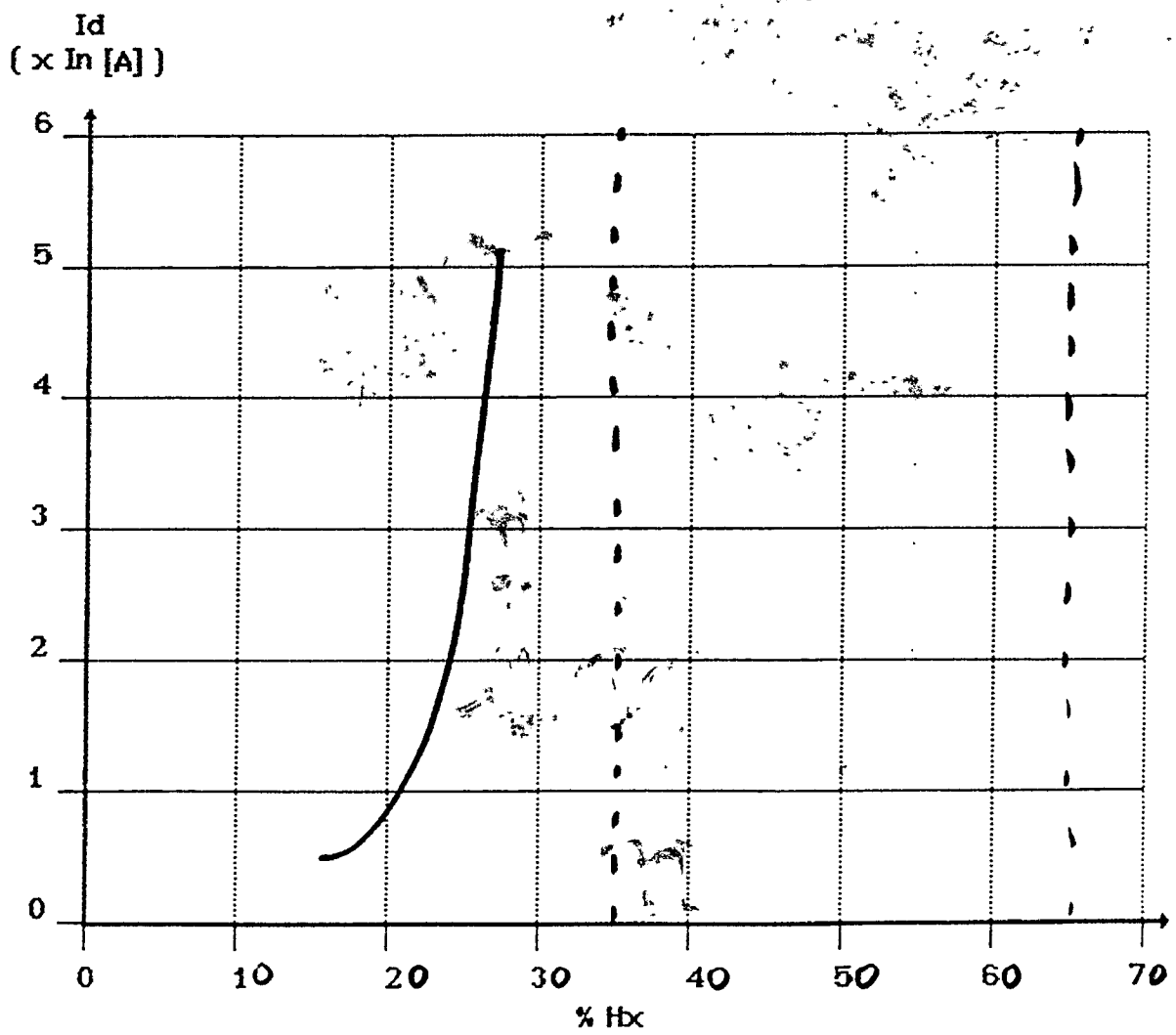
RELÉ DIFERENCIAL

LEVANTAMENTO DA CURVA DE REJEIÇÃO À HARMONICOS



RELÉ DIFERENCIAL

CURVA DE REJEIÇÃO À HARMONICOS

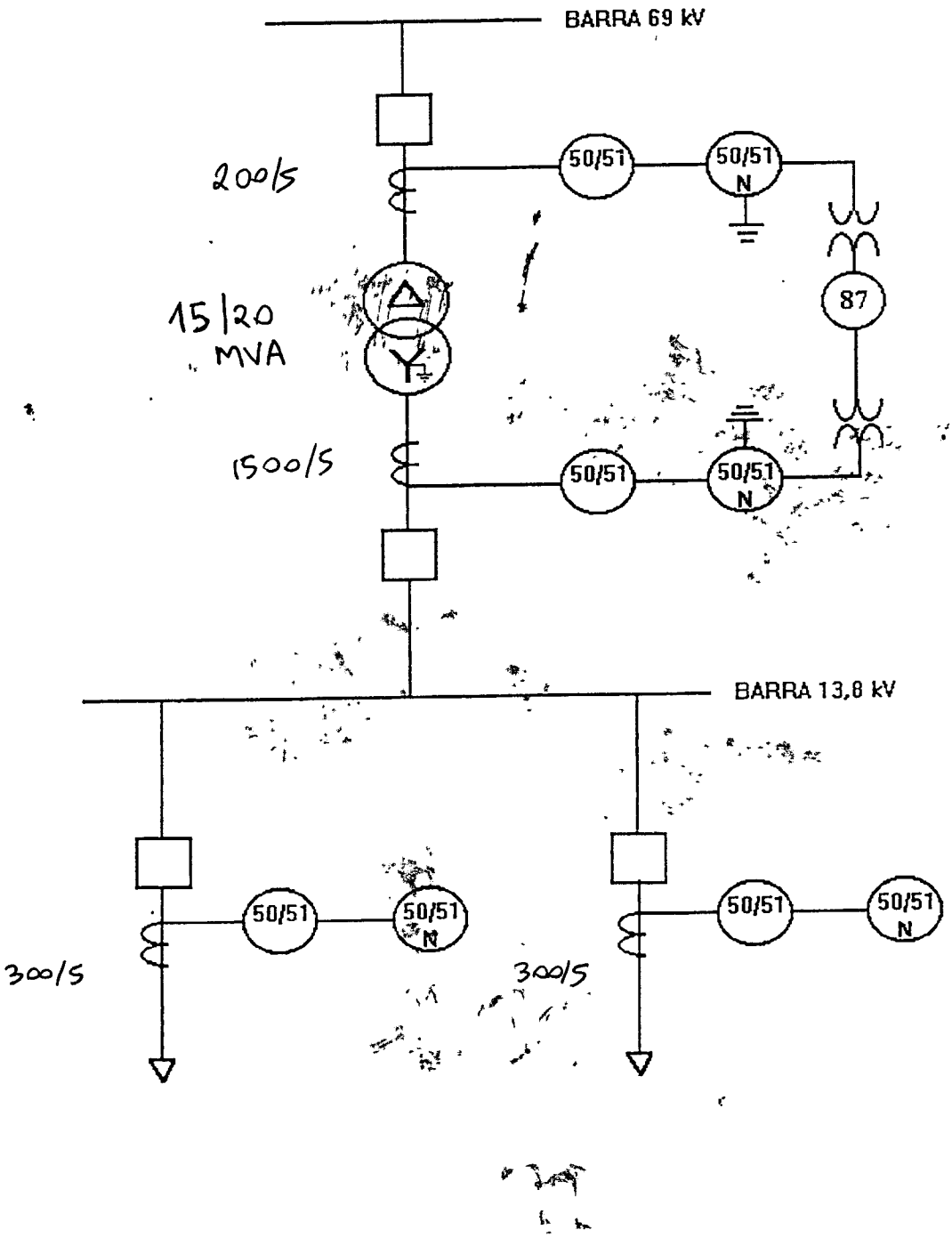


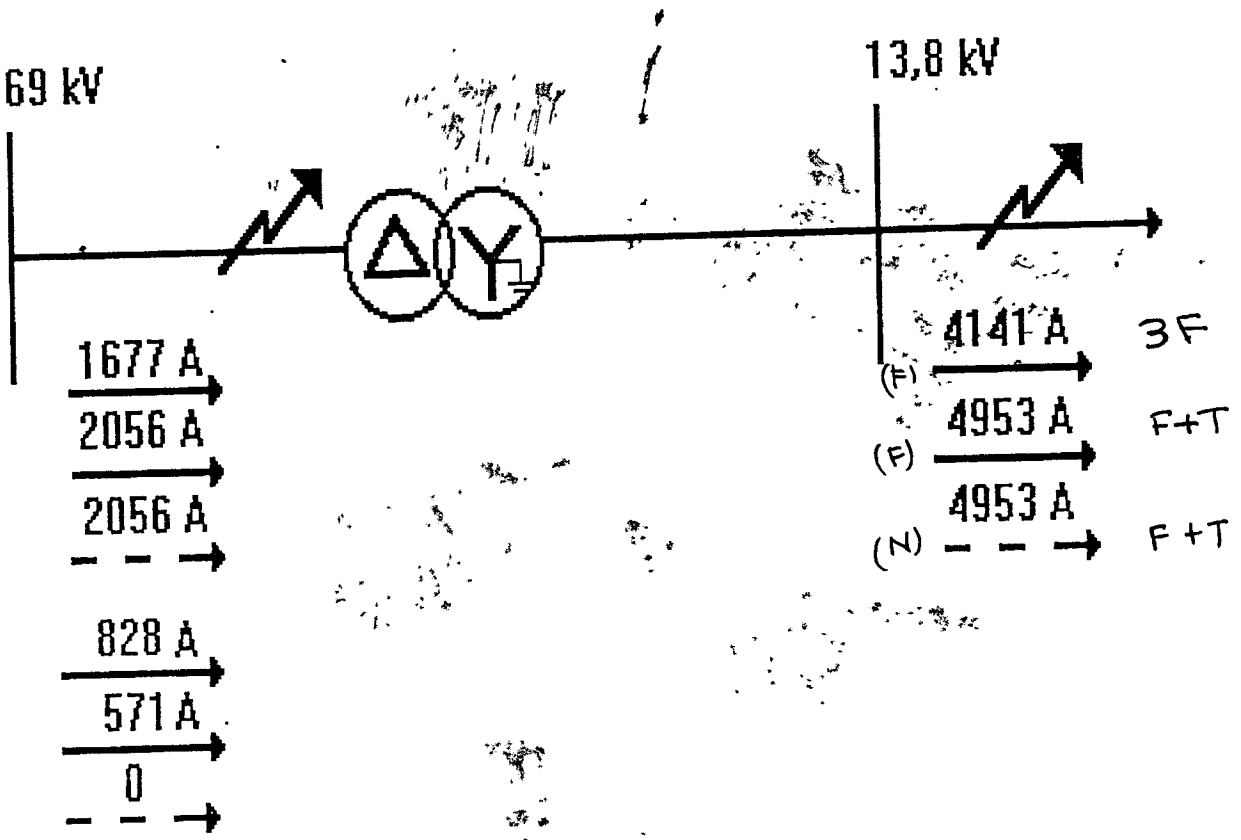
TRSM17.PM

ESTUDO DE PROTEÇÃO

Engº. Edison Aparecido Góes

Ilha Solteira
1997


BARRA 69 kV
200/5
50/51
50/51 N
87
15/20 MVA
1500/5
50/51
50/51 N
BARRA 13,8 kV
50/51
50/51 N
50/51
50/51 N
300/5
300/5



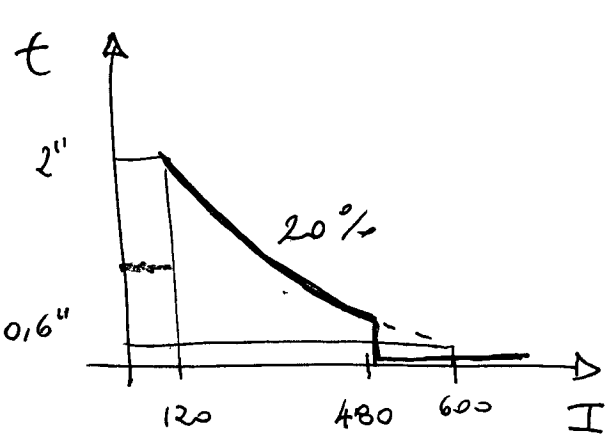
Alimentadores em 13,8kV

TC = 300/5

Rele de fase ICM 2 (4-16 A) BBC

de neutro ICM (0,8-3,2A) BBC

TAP { 5 A, 2,5 A, 1 A



- RELÉ DE NEUTRO:-

Ponto inicial : (2 x ITAP) → 120 A - 2,0 s (×60)

Ponto crítico : (10 x TAP) → 600 A - 0,6 s (×60)

Instantâneo = 480 A

portanto, temos:

2 x TAP = 120 A → TAP = (120) / (2 x 60) = 1,0 A

2 x TAP = 2,0 s
10 x TAP = 0,6 s
} → T.L. = 20%

- INST. = 480 A → INST. = (480) / (1 x 60) = 8

AJUSTE DO INSTANTÂNEO = 8 x TAP

ALIMENTADOR

a) AJUSTE DA DISTRIBUIÇÃO

ALIMENTADOR 7052-19

RELÉ DE FASE

Condiciones de la distribucion

Datos dados por Distribución:
- Ponto inicial (2 x ITAP) → 600A - 1,5 seg
- Ponto crítico (10 x ITAP) → 3000A - 0,45 seg
- Instantaneo 3000A

$2 \times TAP = 600A \longrightarrow TAP = (600)/(2 \times 60) = 5A$

$2 \times TAP,\ t = 1,5\ s$ } T.L. = 15 %

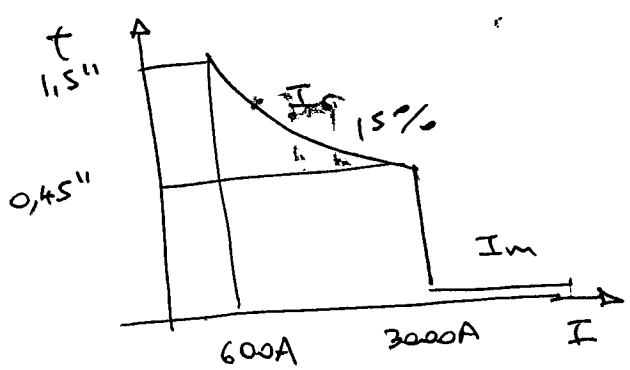
$10 \times TAP,\ t = 0,45\ s$

$INST. = 3000A \longrightarrow INST. = (3000)/(5 \times 60) = 10$ (tap)

$\therefore$ AJUSTE DO INSTANTANEO = 10 x TAP

ORDEM DE AJUSTE

- TAP = 5A
- T.L. = 15 %
- INSTANTANEO = 10 x TAP
- RTC = 60



ALIMENTADOR

RELE NEUTRO

- ORDEM DE AJUSTE:-

TAP = 1,0 A

T. L.= 20%

INSTANTÂNEO = 8 x TAP

RTC = 60

ALIMENTADOR

b) - SITUAÇÃO EM QUE NÃO HÁ SOLICITAÇÃO ESPECÍFICA -

ALIMENTADOR 7052-20

- RELÉS DE FASE :

TAP = 1,2 x IN (TC) = 1,2 x 5

TAP = 6,0 A

MULTIPLO = Icc(3∅) / (RTC x TAP) =

4141 / (60 x 6) = 11,5

MULT. = 11,5 x TAP
t = 0,3 seg
} → TL = 10%

2300A

- INST. = (0,7 x 4141) / (60 x 6) = 8,05 ∴

AJUSTE DO INSTANTÂNEO = 8 x TAP

- ORDEM DE AJUSTE:-

TAP = 6,0 A

T.L. = 10%

INSTANTÂNEO = 8 x TAP

RTC= 60

- RELÉ DE NEUTRO :-

TAP = MÍNIMO DO RELÉ TAP = 0,8 A

MULTIPLO = Icc(ØT) / (RTC x TAP) =

4953./ (60 x 0,8) = 103

MULT. = 103 x TAP

t = 0,3 seg

} → TL = 15%

- INST. =(0,6 x 4953) / (60 x 0,8) = 61,9 ∴

- INSTANTÂNEO = 10 x TAP (ajuste máximo)

- ORDEM DE AJUSTE:

TAP = 0,8 A
T. L. = 15%
INSTANTÂNEO = 10 x TAP
RTC = 60

1.2 - PROTEÇÃO ALIMENTADOR GERAL 13,8 kV

TC = 1500 / 5

- Relés de fase: ICM2 (4-16 A) - B.B.C.

- 1,2 IN DO TRAFO ≤ TAP ≤ 1,2 IN DO TC

TAP > Σ I DOS ALIMENTADORES

TRAFO 15 / 20 MVA IN (BT) = 836 A

ITAP = (1,2 x IN(BT)) / (RTC) =

= (1,2 x 836) / (300) ITAP = 3,34 A ∴

-TAP = 4,0 A

$\sqrt{3}$ 13,8kV x 1500A $\frac{4A}{5A}$

CARGA MÁXIMA = 28,6 MVA

SALIDA
13,8kV

- MULTIPLO = Icc(3Ø) / (RTC x TAP) = 3,45

MULTIPLO = (4141) / (300 x 4) = 3,45

MULT = 3,45 x TAP

t = 0,8 seg = 0,3" + 0,5" (Δt disjuntor + Δt alimentador) → T.L. = 15%

- INSTANTÂNEO = MANTER BLOQUEADO = ∞

- ORDEM DE AJUSTE:

TAP = 4,0 A

T.L. = 15%

INSTANTÂNEO = BLOQUEADO

- RTC = 1500 / 5 A

- Relé de Neutro ICM2 (0,8 - 3,2 A) B.B.C.

- TAP Deve ser o menor possível , desde que o relé não parta antes dos relés de neutro dos alimentadores.

- TAP = 0,8 A (partida = 240 A)

- MULTIPLO = ICC(ØT) / (TAP x RTC)

MULTIPLO = 4953 / (300 x 0,8) = 20,6

MULT. = 20,6 x TAP
t = 0,8 seg
} → TL = 35%

- INSTANTÂNEO = MANTER BLOQUEADO

- ORDEM DE AJUSTE:

TAP = 0,8 A

T.L. = 35%

INSTANTÂNEO = BLOQUEADO

RTC = 1500 / 5

1.3 - PROTEÇÃO DO ALIME[illegible]ADOR GERAL 69 kV

TC = 200 / 5

- Relés de fase: ICM2 (2,5 [illegible]0 A) B.B.C.

- 1,2 IN DO TRAFO ≤ TA[illegible] 1,2 IN DO TC

- TAP > I DOS RELÉS I[illegible]FASE DO ALIMENTADO[illegible]ERAL BT

- TRAFO = 15/20 MVA [illegible]= 167 A

- Relés de fase lado BT par[illegible]com 28,6 MVA

- 28,6 MVA ⟶ 239,3 A [illegible]ferido ao lado AT),

- TAP = 239,3 / RTC = 23[illegible] / 40

TAP = 6,0 A

- MULTIPLO = ICC(3∅) BT * / (RTC x TAP)

- t = (0,3 seg. + t do relé lado BT)

- MULTIPLO = 828 / (40 x 60) = 3,45

MULT. = 3,45 x TAP

t = 1,1 seg.

} → T.L. = 20%

- INSTANTÂNEO ⟶ Deverá ser ajustado para defeitos trifásicos no lado AT, ou caso não seja possível, bloqueado.

- INSTANTÂNEO = Icc3∅ (AT) / (RTC x TAP) =

- INSTANTÂNEO = 1677 / (40 x 6) = 6,98 ∴

- AJUSTE DO INSTANTÂNEO = 6 x TAP "6A

x40 = 1240A

- ORDEM DE AJUSTE:

TAP = 6,0 A

T.L. = 20%

INSTANTÂNEO = 6 x TAP

RTC = 200 / 5

- Relé de Neutro: ICM2 (0,5 - 2,0) B.B.C.

- TAP $\longrightarrow$ Deve ser o menor possível , desde que o relé não parta antes do RN do alimentador geral BT.

Trafo (Δ / Y) $\longrightarrow$ Não há sequência zero, para curto fase-terra, lado BT. $\therefore$

TAP = 0,5 A

- ESCOLHA DO T.L. :

$$\begin{cases} Icc\varnothing T(AT) / (RTC \times TAP) & t = 0,3 \text{ seg (TR } \Delta/Y) \\ Icc\varnothing T(BT) / (RTC \times TAP) & t = (0,3 \text{ seg} + t \text{ relé lado BT) , para TR Y / } \Delta \text{ / Y} \end{cases}$$

MULTIPLO = 2056 / (40 x 0,5) = 102,8

MULT. = 102,8 x TAP

t = 0,3 seg.

→ T.L. = 15%

INSTANTÂNEO - Ajustar para defeitos fase-terra lado BT , caso não seja possível, deverá ser bloqueado

AJUSTE DO INSTANTÂNEO = 10 x TAP

- ORDEM DE AJUSTE :

TAP = 0,5

T.L. = 15%

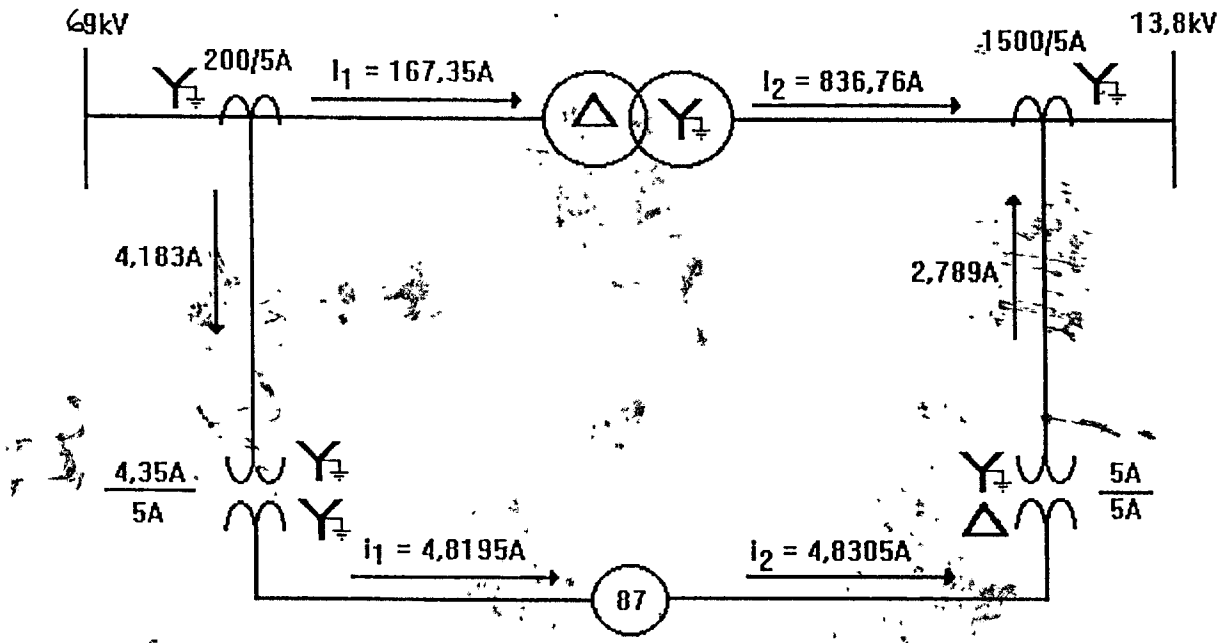
INSTANTÂNEO = 10 x TAP

RTC = 40

Resumo dos ajustes das proteções de sobrecorrente

LOCAL INST RELE	TC	TAP	T.L.	INST.	CARGA MAX. (A)	CARGA MAX (MVA)	ELEM. INST. (A)
FASE ALIM. 19	300/5	5 A	15 %	10 X	300 A	7,17	3000 A
NEUTRO ALIM. 19	300/5	1 A	20 %	8 X	—	—	480 A
FASE ALIM. 20	300/5	6 A	10 %	8 X	360 A	8,6	2880 A
NEUTRO ALIM. 20	300/5	0,8 A	15 %	10 X	—	—	480 A
FASE GERAL BT	1500/5	4 A	15 %	BLOQ	1200 A	28,6	—
NEUTRO GERAL BT	1500/5	0,8 A	35 %	BLOQ	—	—	—
FASE GERAL AT	200/5	6 A	20 %	6 X	240 A	28,6	1440 A
NEUTRO GERAL AT	200/5	0,5 A	15 %	10 X	—	—	200 A

15/20MVA


69kV
200/5A
I_1 = 167,35A
I_2 = 836,76A
1500/5A
13,8kV
4,183A
2,789A
4,35A
5A
5A
5A
i_1 = 4,8195A
i_2 = 4,8305A
87

1-) AJUSTE DA PROTEÇÃO DIFERENCIAL

- CARACATERÍSTICAS DO TRANSFORMADOR

POTENCIA = 15 / 20 MVA

RELAÇÃO DE TRANSFORMAÇAO :

$$69 \pm \begin{matrix} 5\% \\ 2\% \end{matrix} \; / \; 13{,}8\ kV \quad (\Delta / Y)$$

- RELÉ RYDSA 20 - 265 B / ASEA

- TC'S PRINCIPAIS : { lado 69 kV = 200 / 5 (Y)
{ lado 13,8 kV = 1500 / 5 (Y)

- TC ' S AUX. : SLCE12 - (2,85 - 11,2 A) ASEA

- a) RELAÇÃO DOS TC'S AUXILIARES :

I NA BOB. REST. ≅ IN DO RELÉ

TC AUXILIAR LADO 69 kV :

4,35 A (E.A. lado TC) / 5,0 A (E.A. lado RELÉ)

5,0 A (E.A. lado TC) / 5,0 A (D. LADO RELÉ)

- b) AJUSTE DO RELÉ DIFERENCIAL

id = i1 - i2 → id = 0,011 A

i restr. = (i 1 + i 2) / (2) → i.restr. = 4,825 A

Observa-se que existirá corrente circulando pela bobina de operação do relé (id), devido principal mente a :

εa = ajuste imperfeito das relações do TC's princi pais e auxiliares.

εb = erro próprio do TC's.

εc = variação da corrente nominal do trafo, devido comutação de tap's.

- C Á L C U L O S :

- $\varepsilon a\ (\%) = (\text{id} / \text{i restr.}) \times 100\ \% =$

$$((0{,}011) / (4{,}825)) \times 100\ \% = 0{,}22\%$$

- $\varepsilon b\ (\%) =$ 15% (estimativa de erro dos TC's)

- $\varepsilon c\ (\%) = ((\text{Imáx} - \text{Imed}) / \text{Imed}) \times 100\ \%$

$$\text{Imed} = (\text{Imax} - \text{Imin})^{1/2}$$

$$\text{Imax} = (20\ E6) / ((\sqrt{3} \times (69\ E3 - 1{,}38\ E3)) =$$

$$= 170{,}76\ A$$

$$\text{Imin} = (20\ E6) / ((\sqrt{3} \times (69\ E3 + 3{,}45\ E3)) =$$

$$= 159{,}38\ A$$

$$\text{Imed} = 164{,}97\ A \quad \therefore \quad \varepsilon c\ (\%) = 3{,}5\%$$

$$\varepsilon T = \varepsilon a + \varepsilon b + \varepsilon c \rightarrow \varepsilon T = 18{,}72\ \%$$

- Relé RYDSA 20 - 265B / ASEA

Faixa de Ajuste :

ID/IN = (25% - 32% - 40% - 50%).

Logo : AJUSTE = ID/IN = 25%

ANEXOS

Maximum output capacity and optimum accuracy are obtained when the highest possible number of turns is used, i.e. current-comparing circuits the product of current and total number of effective turns should be equal to or larger than fifteen (15). Windings not being used should be left disconnected.

The windings G – H and P – Q are designed for a maximum current of only 1.24 A, 5-A circuit-connections must consequently be made with the remaining six windings. These six windings comprising a total of twenty turns can be used to form any ratio a/b, provided a and b are integers and their sum is equal to or less than twenty. There are three exceptions to the foregoing: 4/11, 5/12 and 6/13. All the matching connections which can be formed between two 5-A circuits on the 4AM22 20–7AA transformer are shown in Fig. 3, below.

Only one out of the different connections possible for a certain ratio is in most cases shown. This is usually that connection which makes use of the highest number of turns.

Start any selection of connections by looking up that number in the "ü" column of Fig. 3 which is closest to the calculated value of the ratio ü or 1/ü.

Where two 1-A circuits must be matched, windings G–H and P–Q can also be used.

ü	A D / E O	B C	$\frac{W_1}{W_2}$	$\frac{I_1}{I_2}$ A max.	ü	E F / A O	B C	$\frac{W_1}{W_2}$	$\frac{I_1}{I_2}$ A max.
0.1765	AD/EO	BC FI KL MN	3/17	8.8/1.553	0.5385	EF/AO	BC DI KL MN	7/13	6.3/3.392
0.1818	CD/AM	BE FI KL	2/11	8.8/1.600	0.5454	BF/CO	AE DL MN	6/11	6.3/3.436
0.1875	AD/EO	BC FL MN	3/16	8.8/1.650	0.5556	DF/LO	CE MN	5/9	6.3/3.500
0.2000	AD/EO	BC FI KN	3/15	8.8/1.760	0.5714	CM/EF	DL	4/7	8.8/5.029
0.2143	AD/EO	BC FN	3/14	8.8/1.886	0.5833	EF/CO	DI KL MN	7/12	6.3/3.675
0.2222	CD/LO	MN	2/9	8.8/1.956	0.6000	BF/IO	AE KL MN	6/10	6.3/3.780
0.2308	AD/EO	BC FK IN	3/13	8.8/2.031	0.6250	AM/IO	BC DL KN	5/8	8.8/5.500
* 0.2500	AK/EO	BC DI FL MN	4/16	8.8/2.200	0.6364	EF/AO	BI KL MN	7/11	6.3/4.009
0.2667	CM/EO	DL FI KN	4/15	8.8/2.347	0.6667	AF/CO	BE DI KL MN	8/12	6.3/4.200
0.2727	AD/EO	BC FM IN KL	3/11	8.8/2.400	0.7000	EF/IO	KL MN	7/10	6.3/4.410
* 0.2857	AK/EO	BC DI FN	4/14	8.8/2.514	0.7143	AM/NO	BC DL	5/7	8.8/6.286
0.3000	AD/IO	BC KL MN	3/10	8.8/2.640	0.7273	AF/CO	BE DL MN	8/11	6.3/4.582
0.3077	CM/EO	DL FK IN	4/13	8.8/2.708	0.7500	BF/IO	AE KN	6/8	6.3/4.725
0.3333	AM/EO	BC DL FI KN	5/15	8.8/2.933	0.7778	EF/LO	MN	7/9	6.3/4.900
0.3571	AM/EO	BC DL FN	5/14	8.8/3.143	0.8000	AF/IO	BE KL MN	8/10	6.3/5.040
0.3750	AD/IO	BC KN	3/8	8.8/3.300	0.8182	CF/AO	BI DE KL MN	9/11	6.3/5.155
0.3847	AM/EO	BC DL FK IN	5/13	8.8/3.385	0.8333	AM/KO	BC DL IN	5/6	7.560/6.3
0.4000	DF/IO	AE BC KL MN	4/10	6.3/2.520	0.8571	AM/EF	BC DI KL	6/7	7.350/6.3
0.4286	AM/EO	BC DI FN KL	6/14	8.8/3.771	0.8750	EF/IO	KN	7/8	6.3/5.513
0.4444	AK/LO	BC DI MN	4/9	8.8/3.911	0.8889	AF/LO	BE MN	8/9	6.3/5.600
0.4545	DF/AO	BI CE KL MN	5/11	6.3/2.864	0.9000	CF/IO	DE KL MN	9/10	6.3/5.670
0.5000	BF/CO	AE DI KL MN	6/12	6.3/3.150	1.0000	AF/IO	BC DE KL MN	10/10	6.3/6.3

Fig. 3 Matching two conductively isolated circuits with continuous currents without making use of the 1-A windings G-H and P-Q

RATIO OF WINDINGS A 1 B C 2 D E 4 F G 16 H I 1 K L 2 M N 7 O P 16 Q

RATED CURRENT IN 5 5 5 1 5 5 5 1

TC TIPO 4AM5170-7AA

Auto-transformer connection

The auto-transformer connection can be employed instead of the separate-winding connection in arrangements where isolation of the circuits is not mandatory. It results in lower losses and consequently affords greater accuracy.

The auto-transformer connection offers considerable advantages in cases where the values of the currents compared differ only slightly: only the differential current passes through the common winding part and the heat losses, which increase with the square of the current, are thus kept low. Also the auto-transformer connection often enables a greater number of turns to be used.

Fig. 4 is a schematic representation comparing two forms of a 5-A/3-A matching connection, once with two separate windings and once in auto-transformer connection. With separate windings the desired ratio can be obtained with a maximum of 6/10 turns. With the auto-transformer connection, a 10-turn winding with the tapping after the 6th turn or a 20-turn winding with the tapping after the 12th turn can be employed. The higher number of turns causes an increase in heat losses but reduces the voltage per turn by 50%, provided all other conditions remain the same. Thus only 50% of the magnetizing power is required, i.e. by doubling the number of turns the magnetizing current is reduced to one quarter. Also, a twenty-turn matching transformer is capable of delivering voltages of up to 40 V.

OBRA: PROGRAMA DE TESTES

ASSUNTO: CURVA CARACTERÍSTICA DO RELÉ RYDSA 20-2

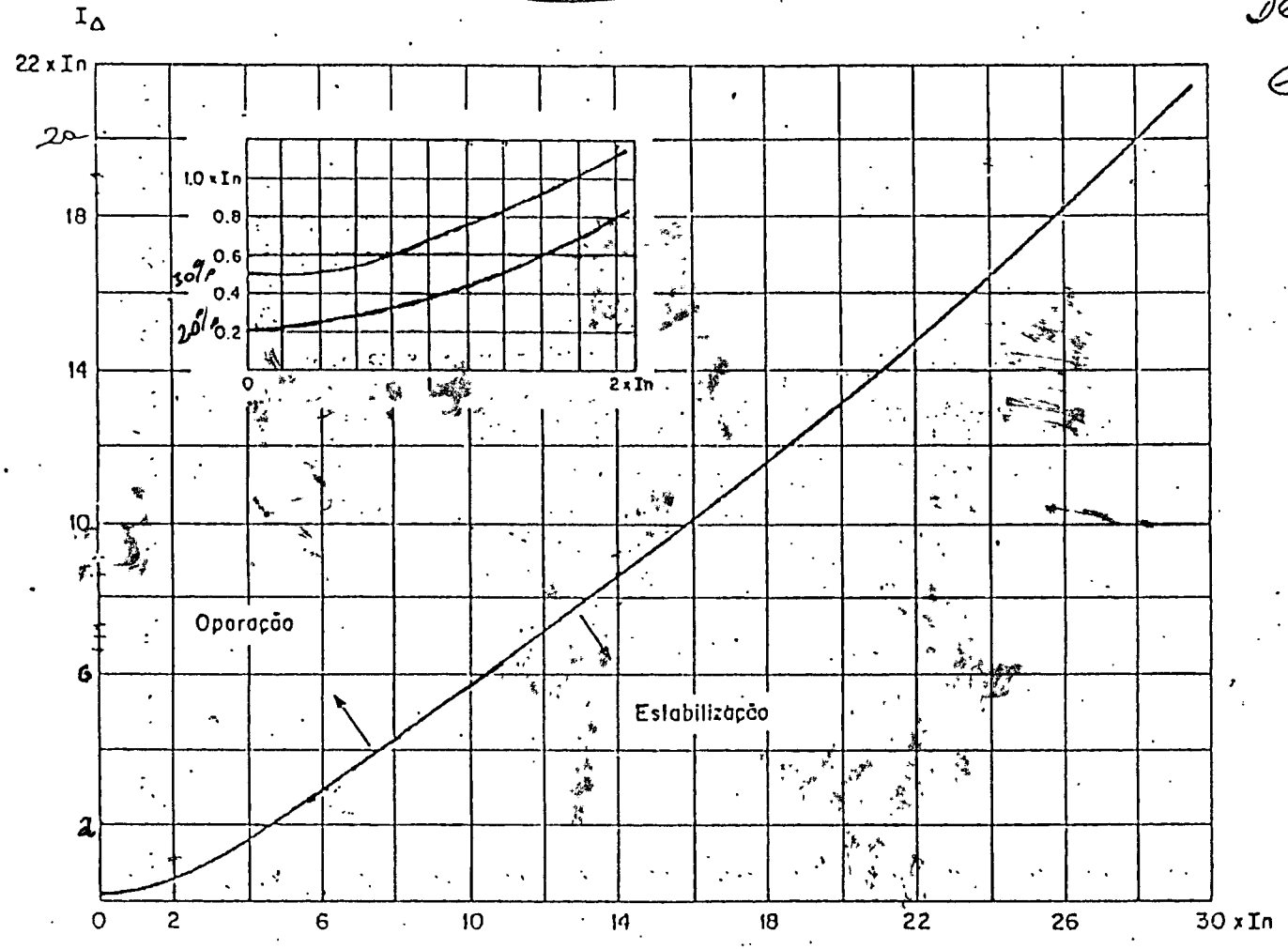
DES. LYRIO | VER. 1 | DATA 26/07/..

RES. Nº. - | OPV/STA/SC...

AJUSTE A 20% = V%

VÁRIO AJUSTE DESTE RELÉ É A UNIDADE V% = 20%/25%. 32%/40%/50%

$I_D = \dot{\lambda}_1 - \dot{\lambda}_2$

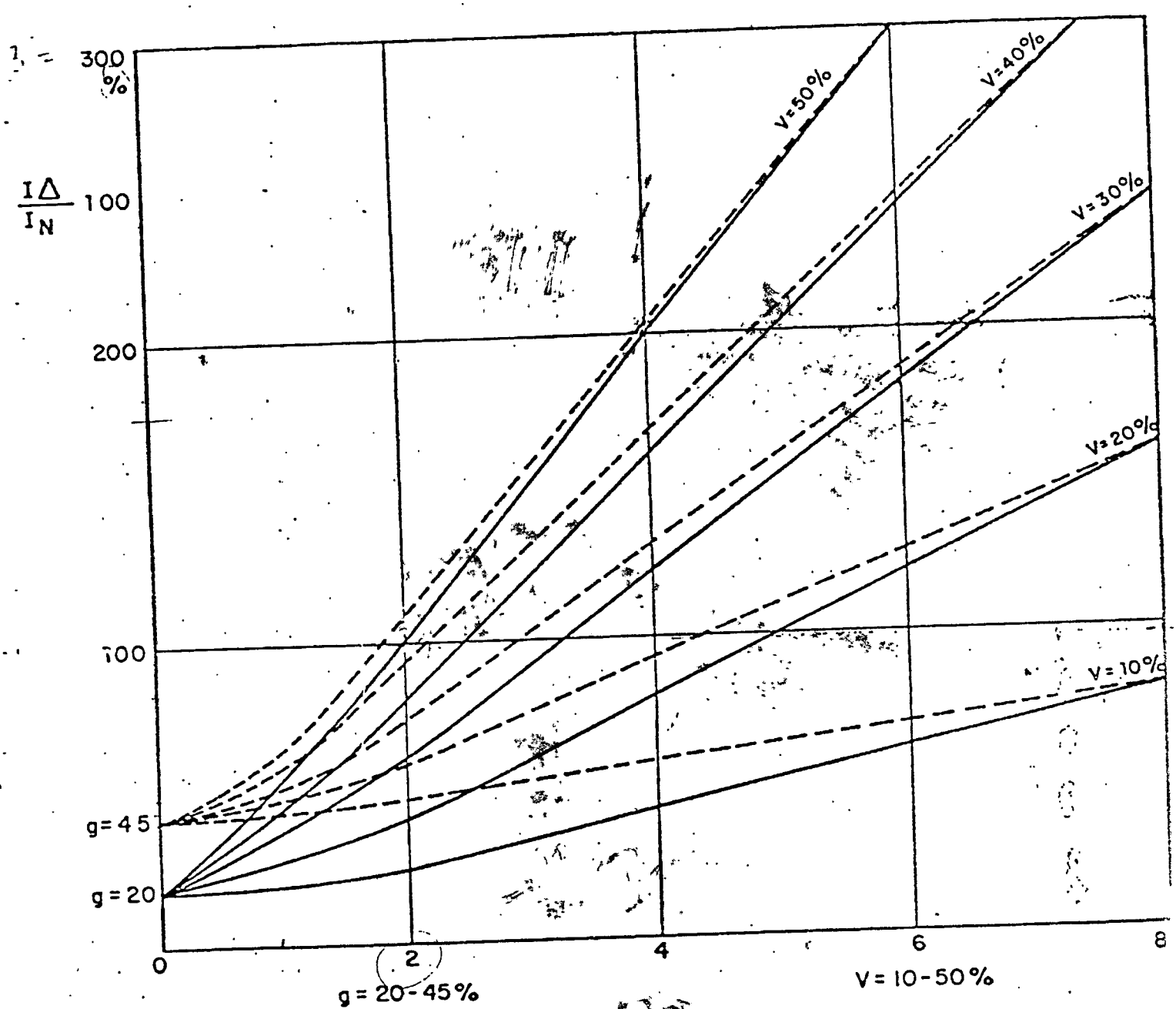


$I_S = \frac{I_X + I_Y}{2}$

$I_R = \frac{\dot{\lambda}_1 + \dot{\lambda}_2}{2}$

2

Curva Característica do
Relé Diferencial DMS

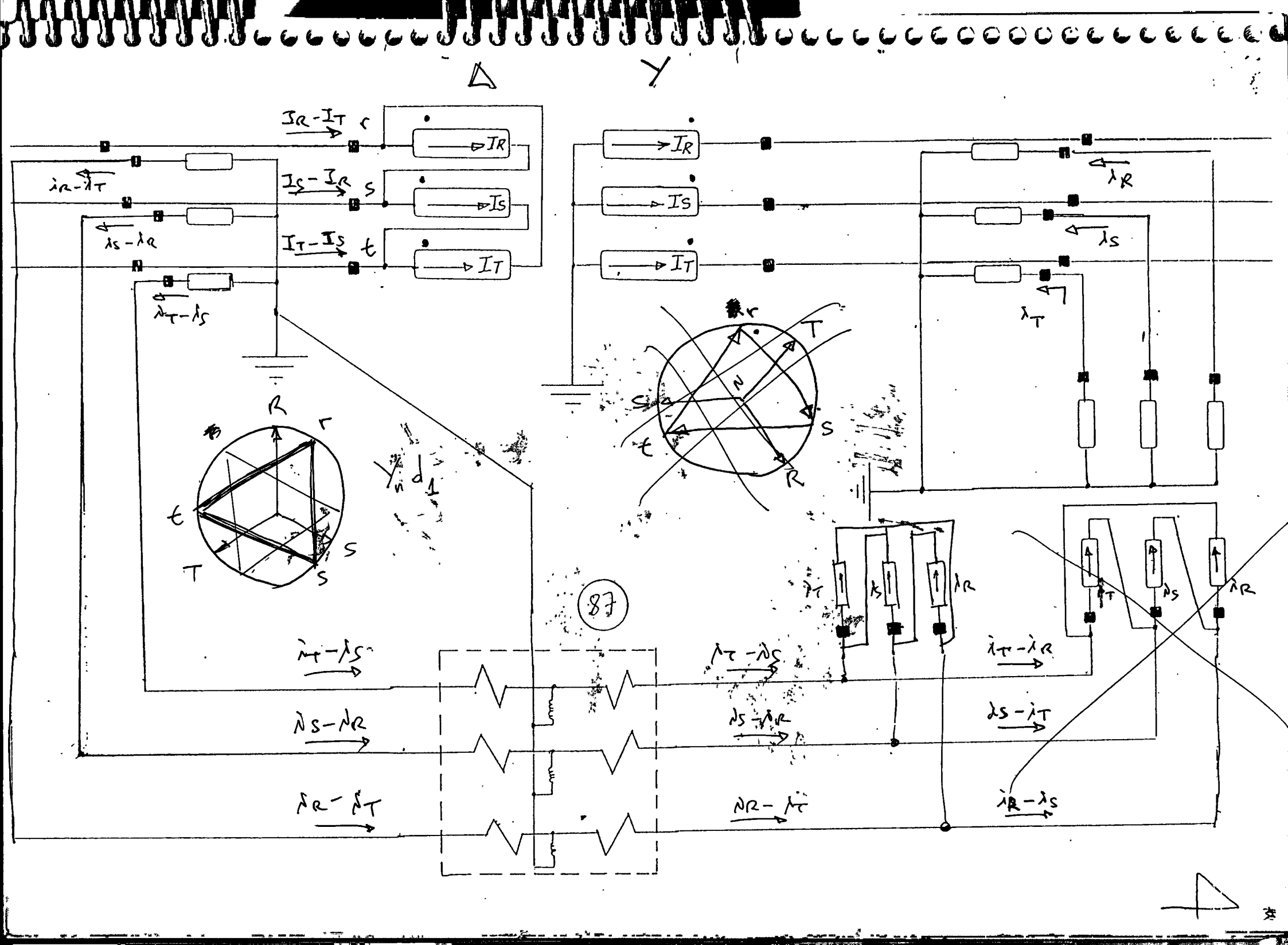


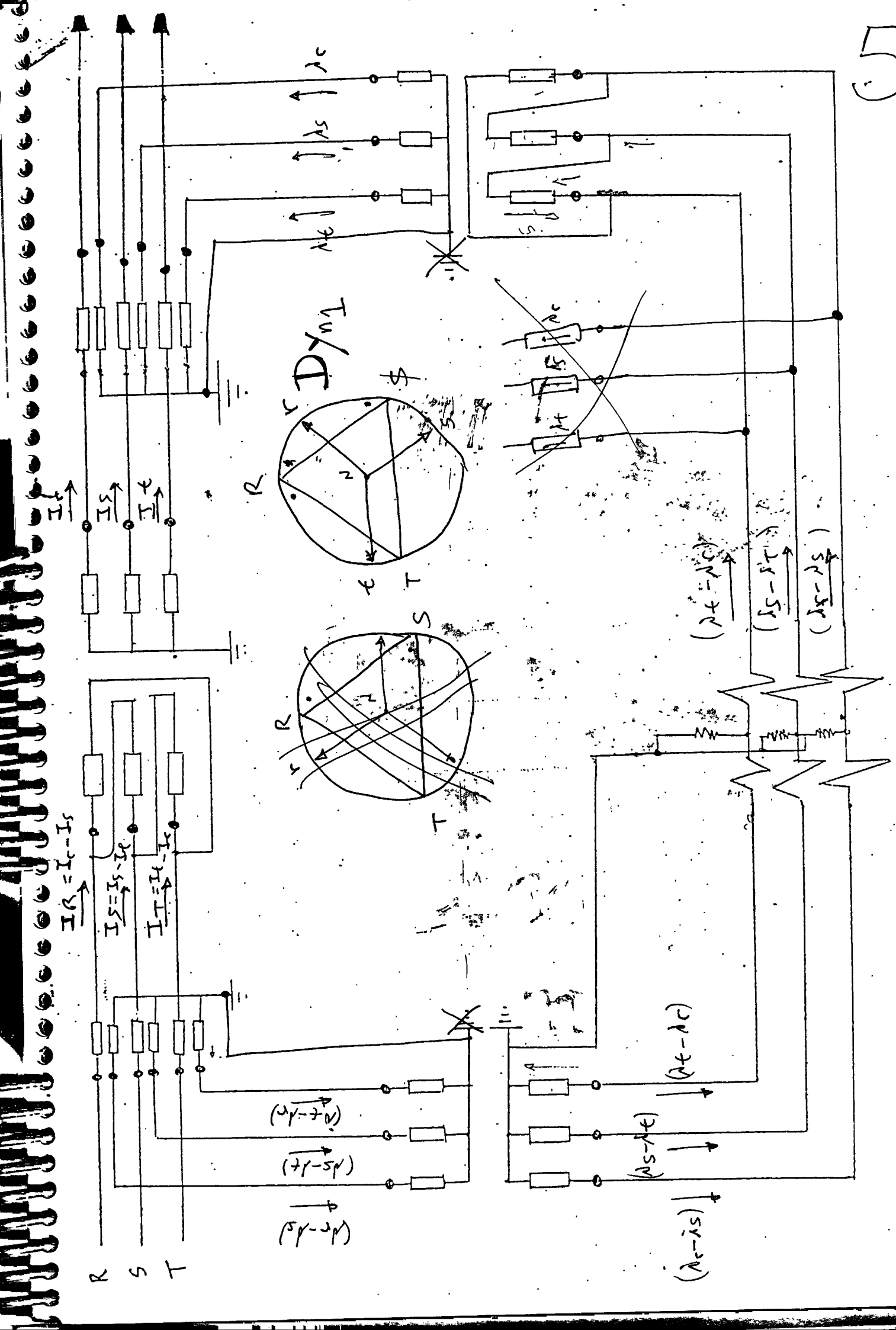
$\frac{I\Delta}{I_N}$

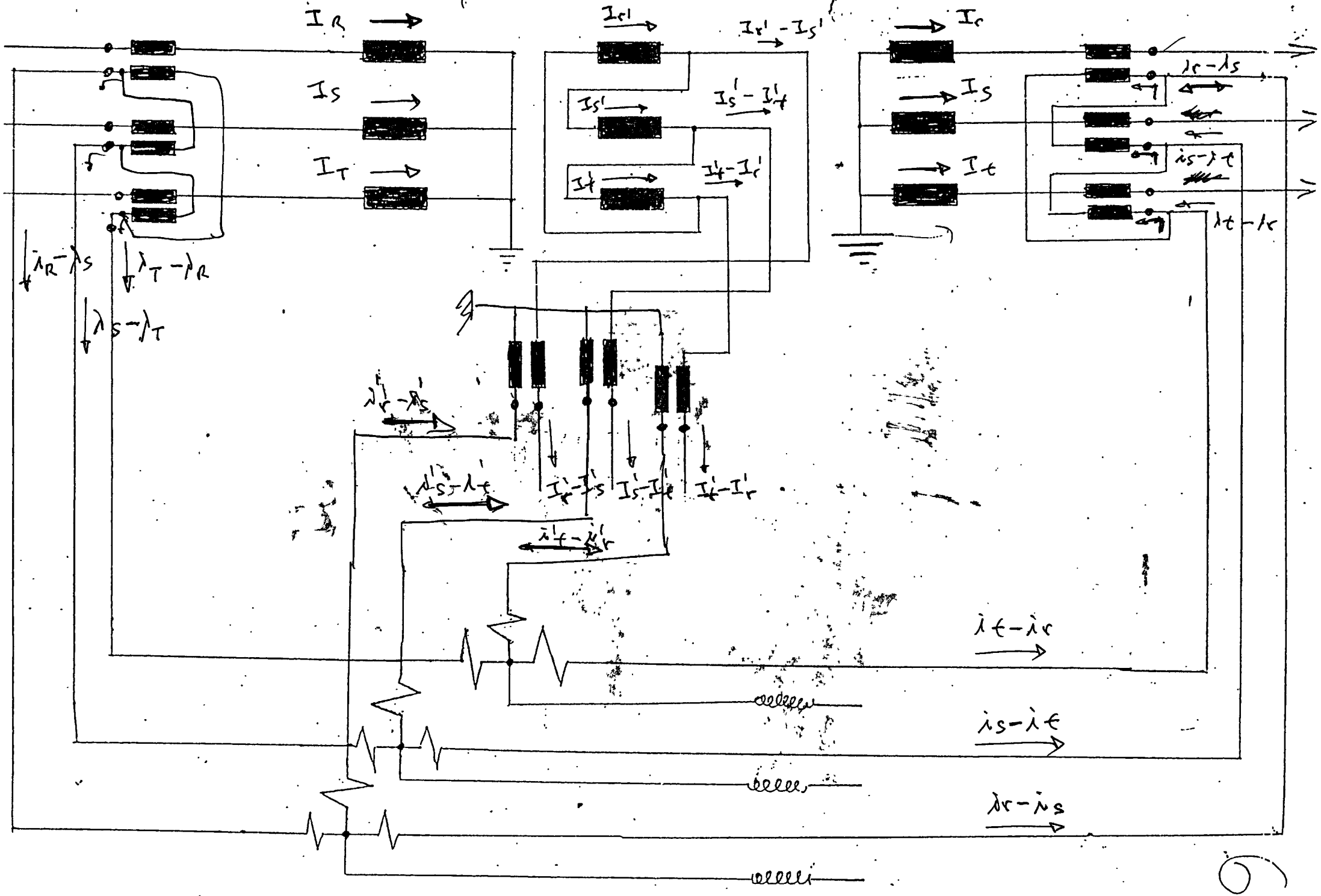
Centro de Treinamento de Ilha Solteira

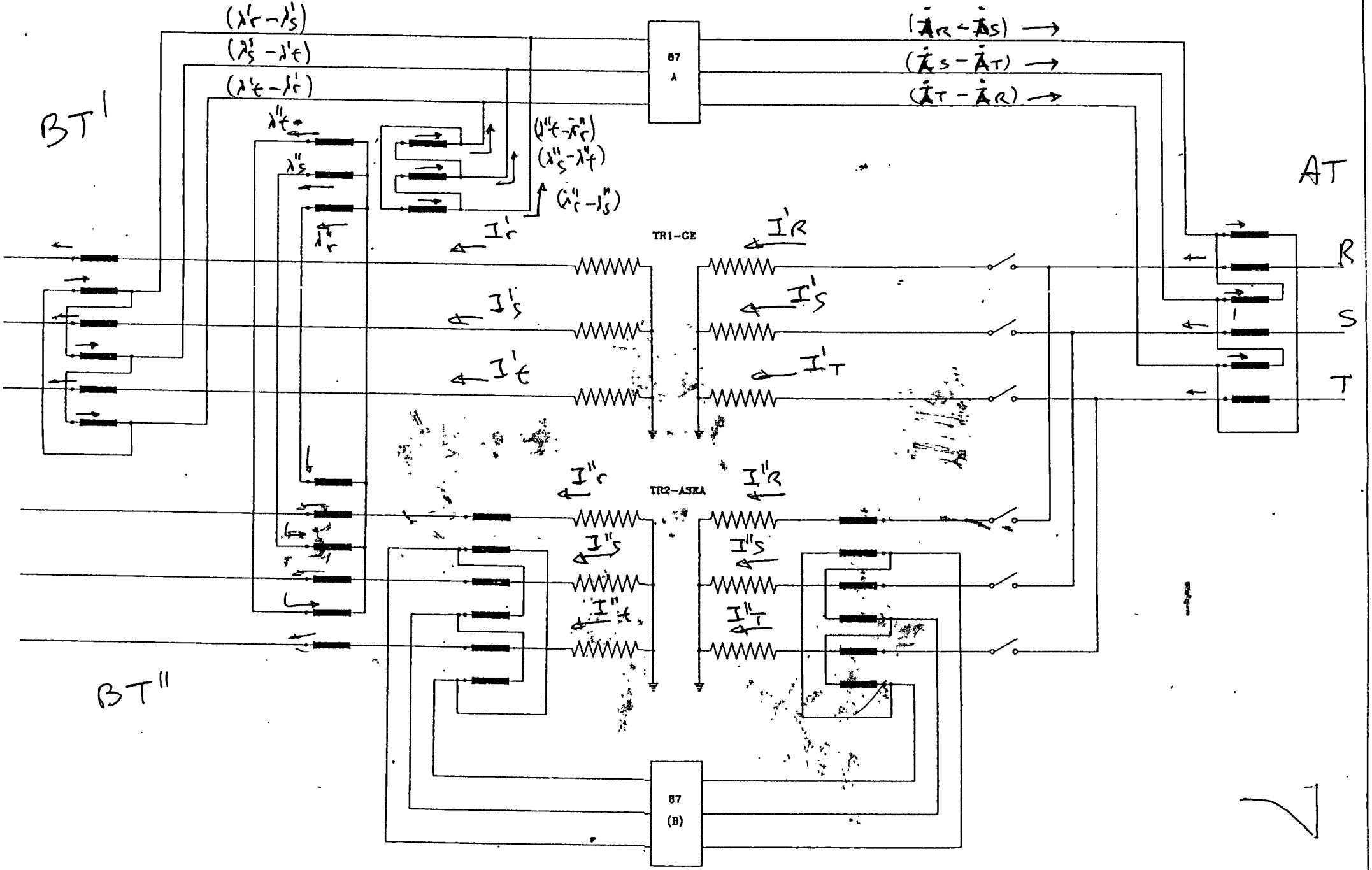
Setor Desenvolvimento de Cursos

DES. Leôncio / RAV / 19/11/81


Δ
Y
IR-IT
IS-IR
IT-IS
IR
IS
IT
λR-λT
λS-λR
λT-λS
λR
λS
λT
R
S
T
r
s
t
87
λT-λS
λS-λR
λR-λT
λT-λS
λS-λR
λR-λT
λT-λR
λS-λT
λR-λS


R
S
T


I_R
I_S
I_T
I_{r1}
$I_{r1}' - I_S'$
$I_S' - I_t'$
$I_t' - I_r'$
I_r
I_S
I_t
$\lambda_r - \lambda_s$
$\lambda_s - \lambda_t$
$\lambda_t - \lambda_r$
$\lambda_R - \lambda_S$
$\lambda_S - \lambda_T$
$\lambda_T - \lambda_R$
$\lambda_r' - \lambda_s'$
$\lambda_s' - \lambda_t'$
$\lambda_t' - \lambda_r'$
$I_r' - I_S'$
$I_S' - I_t'$
$I_t' - I_r'$
$\lambda_t - \lambda_r$
$\lambda_s - \lambda_t$
$\lambda_r - \lambda_s$

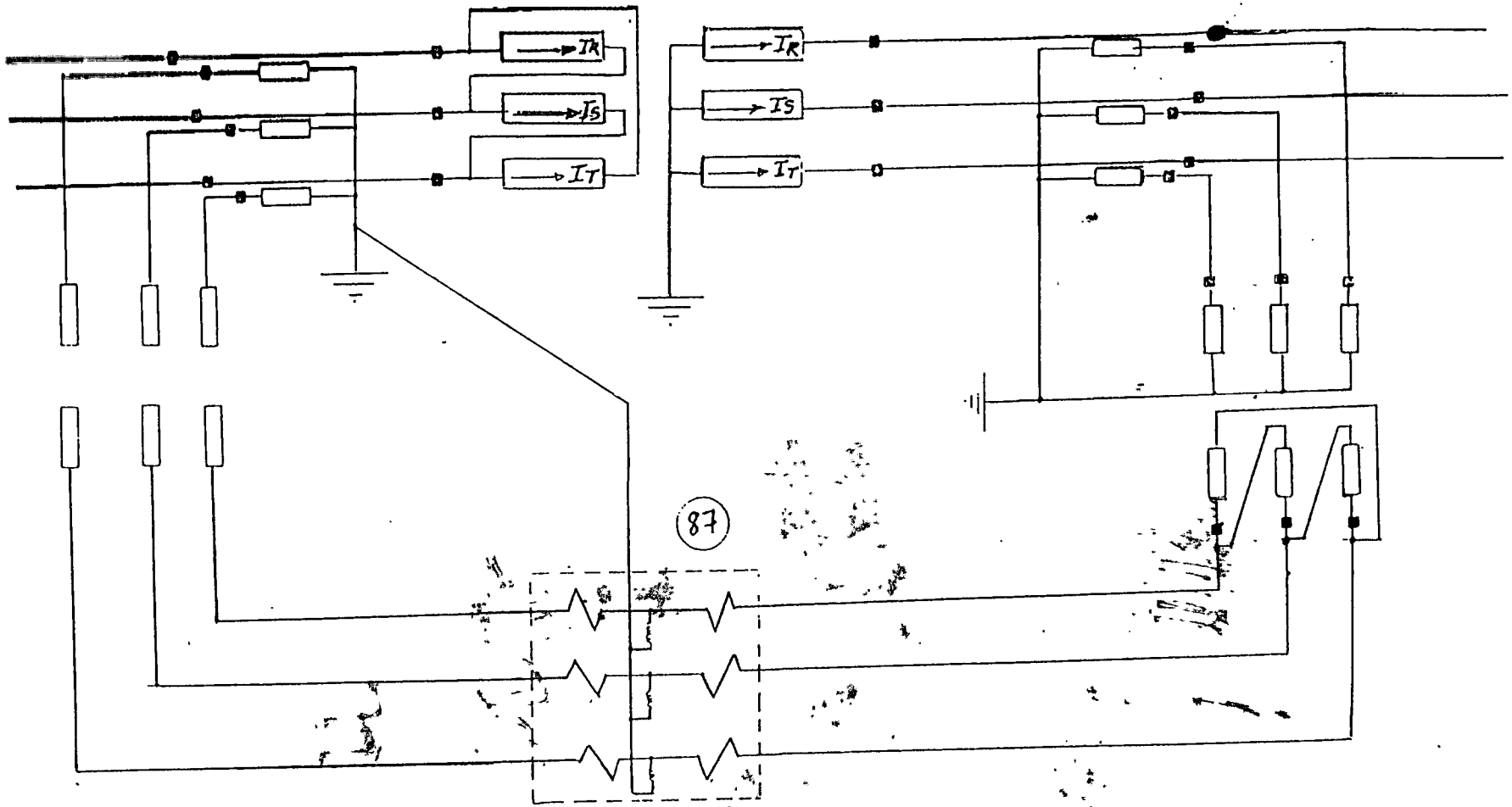

BT I
BT II
AT
87 A
87 (B)
TR1-GE
TR2-ASEA
R
S
T

Dado o diagrama trifilar..

Pede-se:

a) Analisar o esquema e indicar as correntes no Relé Diferencial (87);

b) Caso a ligação esteja incorreta, explicar o que deverá ser feito para que as correntes que chegam no relé (87) sejam iguais as que saem.


IR
IS
IT
IR
IS
IT
87

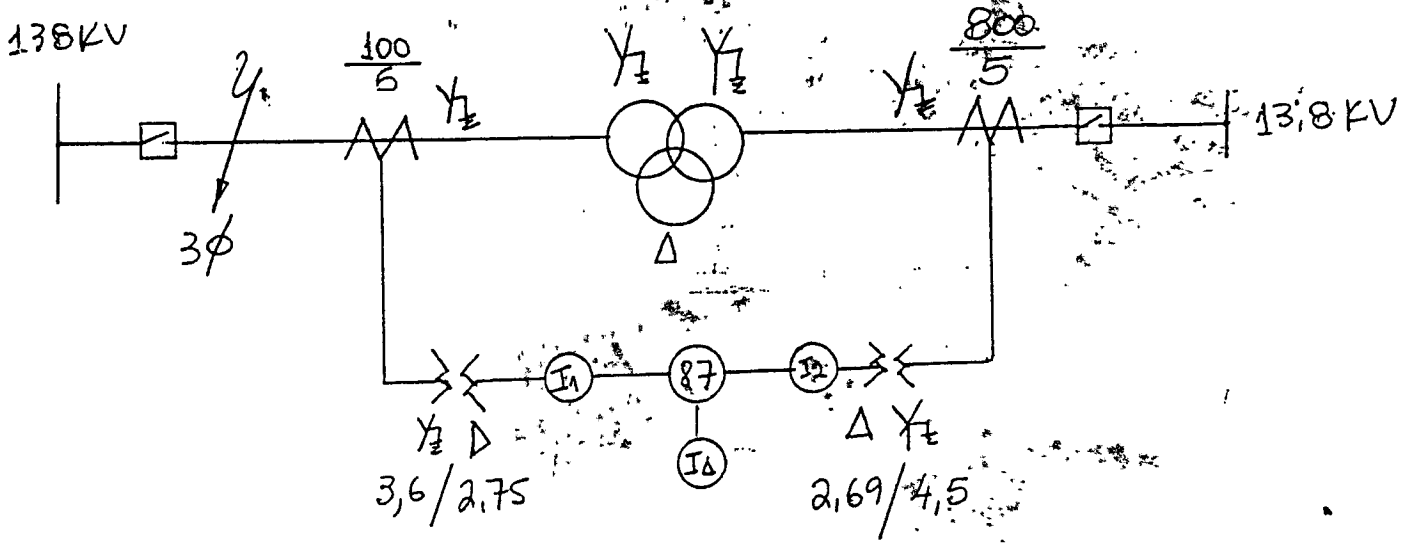
Para o transformador da figura abaixo, calcular as correntes I1, I2 e I(delta) = (I1 - I2) - nos amperímetros, quando for realizado o ensaio de curto para verificação da fiação da Proteção diferencial.

Dados do tranformador:

S- 18MVA

Z - 7,3% nas Bases de 18 MVA - 138 kv / 13,8 Kv .

Tensão aplicada durante o ensaio - 220 volts - lado de 13,8KV



10

Dado o esquema trifilar:

Pede-se:

a) Completar com a ligação mais adequada, o TC auxiliar do lado delta do transformador.

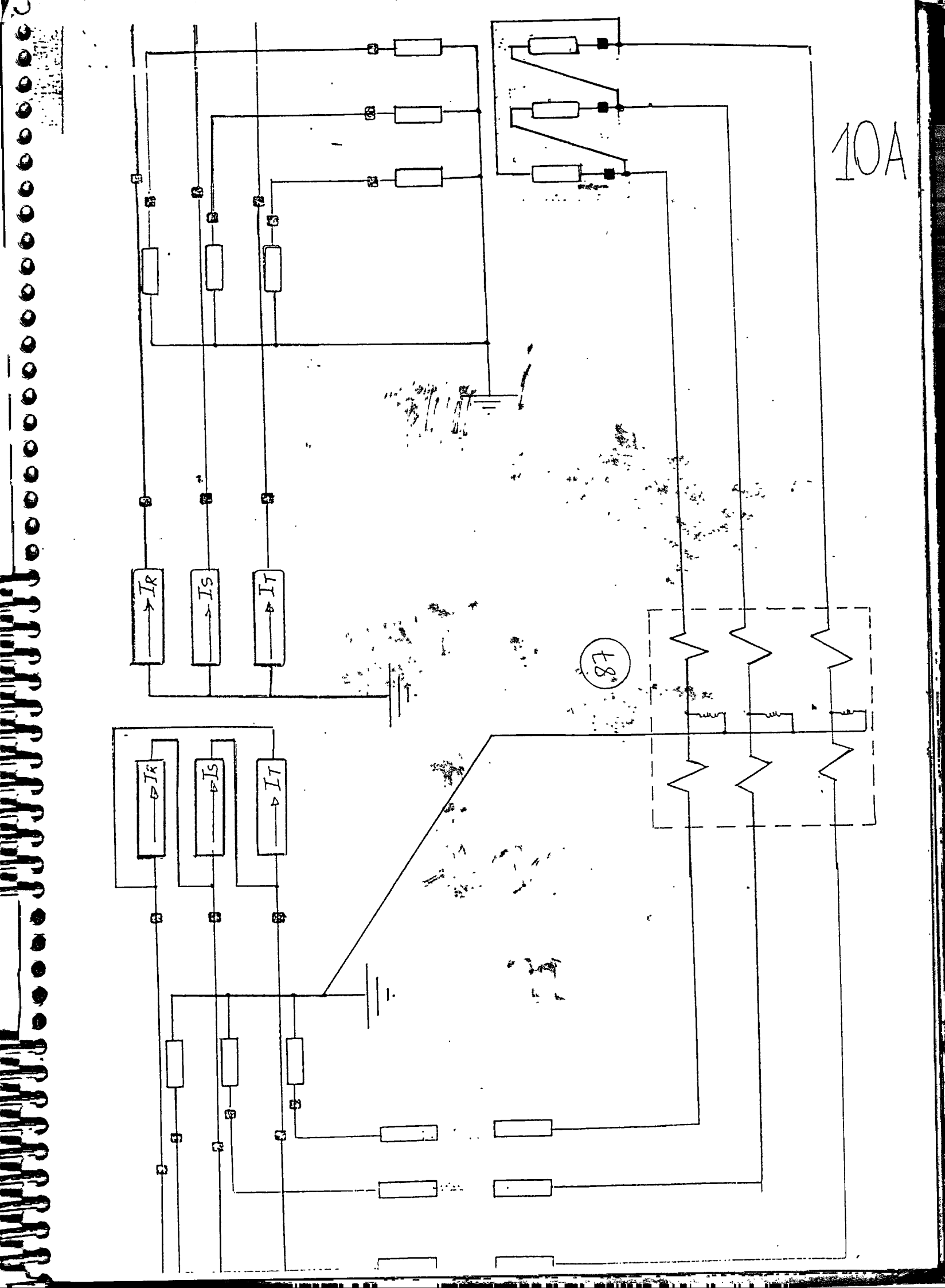
b) Dados:
Transformador:
S = 25 MVA
V = 138 KV (lado delta)
V = 13,8 KV(lado estrêla)
TC lado baixa - 1200/5
TC lado alta - 150/5

I máxima no relé em regime permanente = 4A

Relações dos TC's auxiliares:

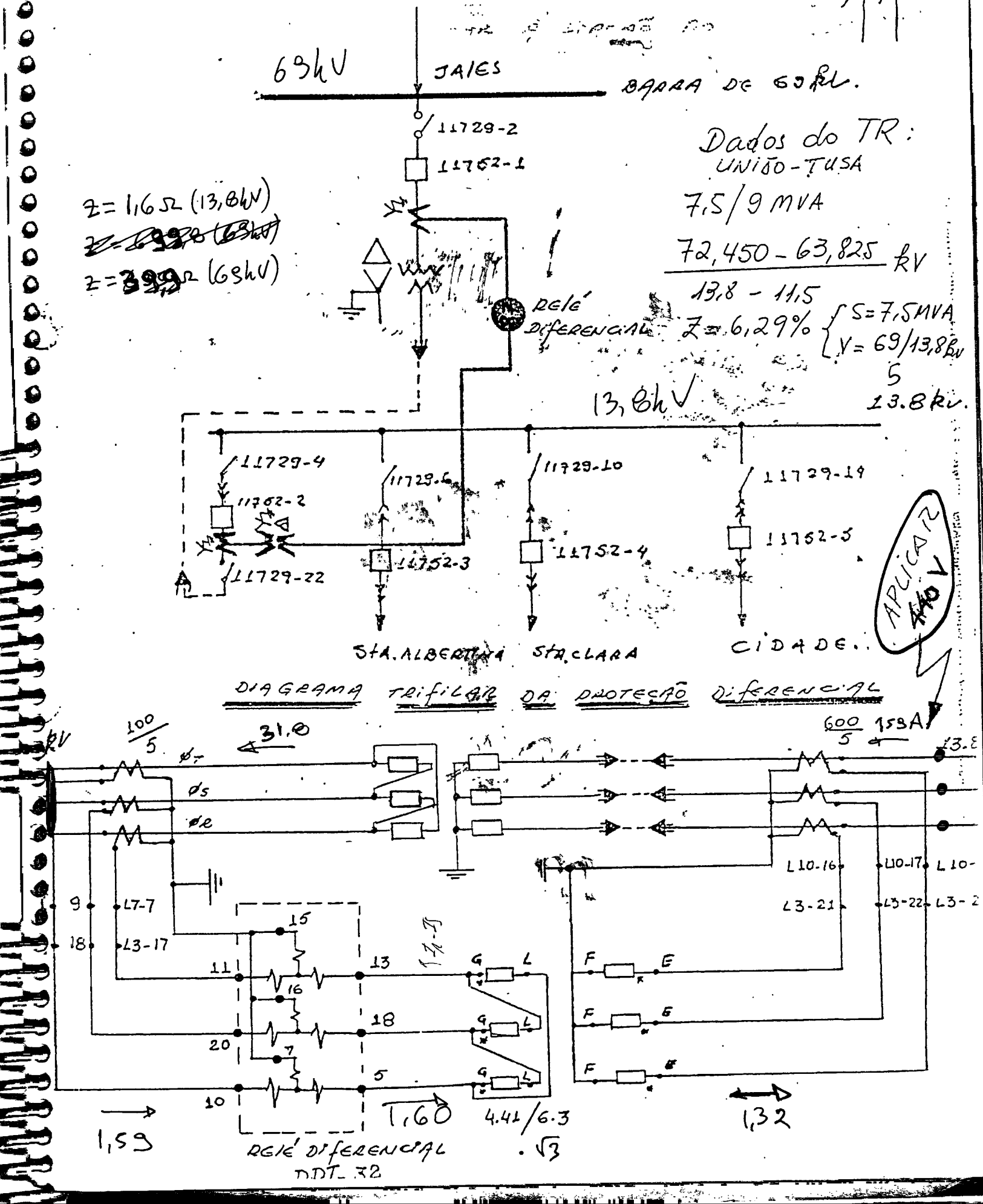
3,5/3,5 - 3,8/3,5 - 3,5/4 - (TC's do lado a completar)
5/5 - 4,36/2,02 - 7/$\sqrt{3}$ (Ligação estrêla - delta)

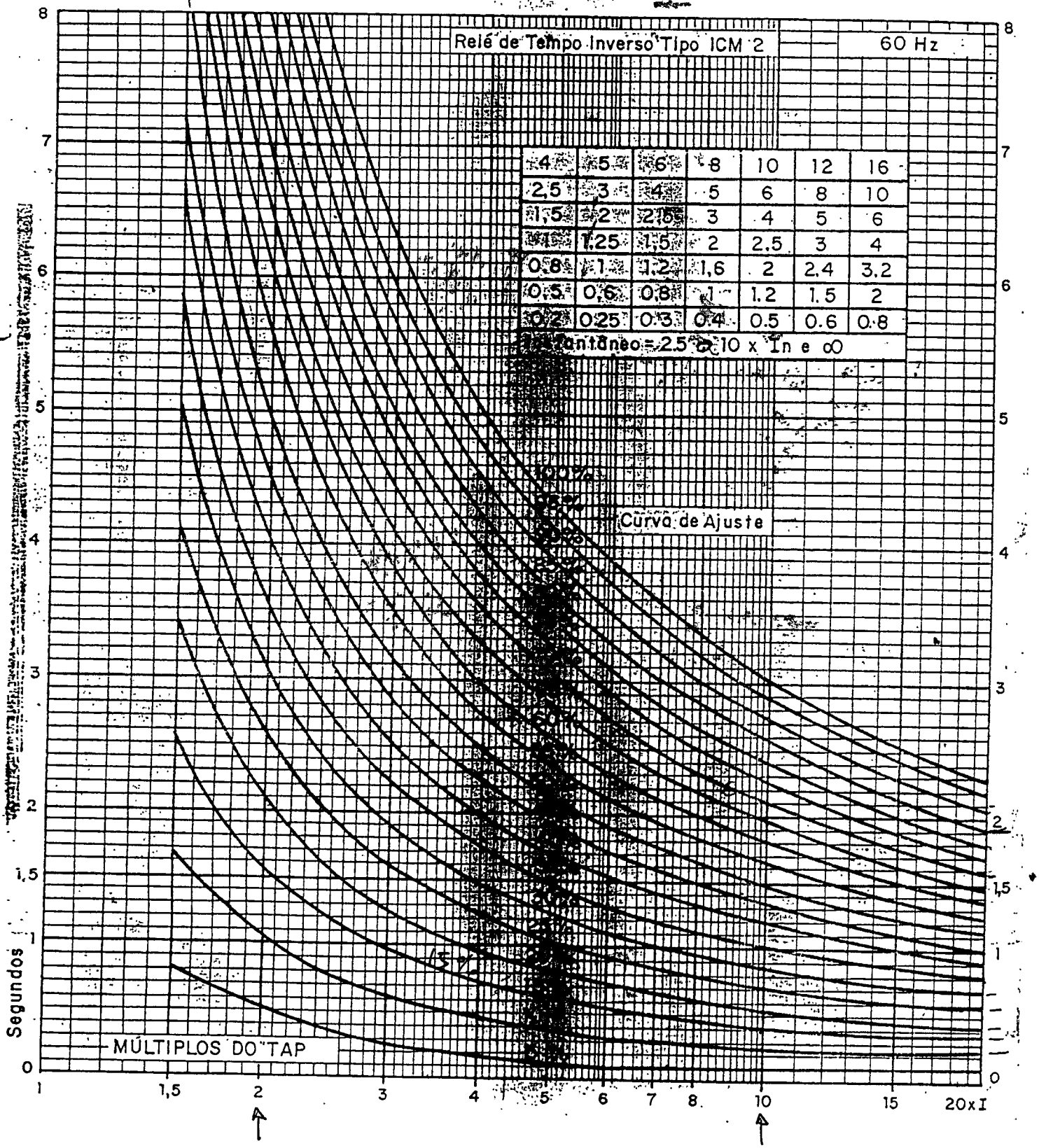
Pede-se dimensionar os TC's auxiliares, baseando-se nos dados acima.


10A
87
I_R
I_S
I_T
I_R
I_S
I_T

ENSAIO DE CURTO-CIRCUITO NO TRAFO PARA VERIFICAR A FIAÇÃO DA PROTEÇÃO DIFERENCIAL.

11




Relé de Tempo Inverso Tipo ICM 2
60 Hz
4 5 6 8 10 12 16
2,5 3 4 5 6 8 10
1,5 2 2,5 3 4 5 6
1 1,25 1,5 2 2,5 3 4
0,8 1 1,2 1,6 2 2,4 3,2
0,5 0,6 0,8 1 1,2 1,5 2
0,2 0,25 0,3 0,4 0,5 0,6 0,8
Instantâneo = 2,5 a 10 x In e ∞
Curva de Ajuste
Segundos
MÚLTIPLOS DO TAP
20xI

13

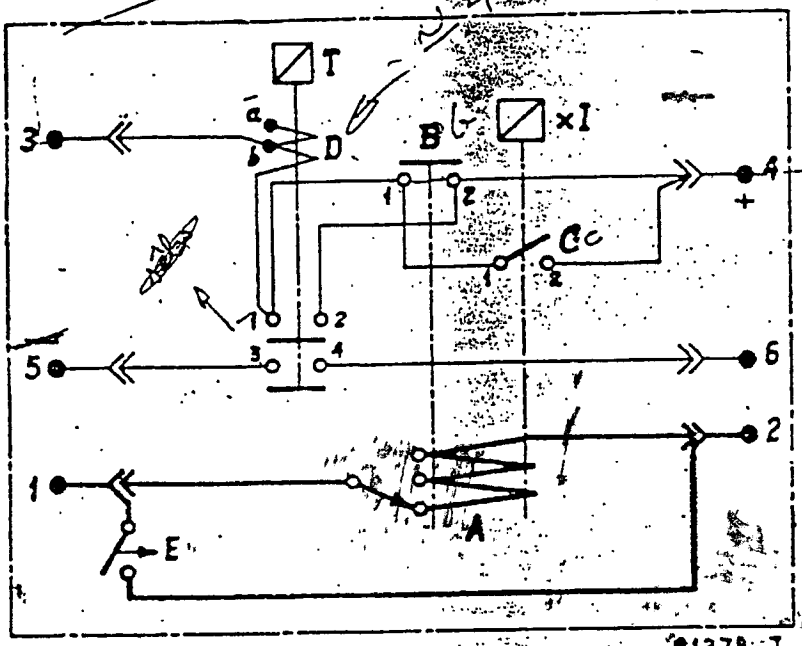


Fig. 3

Diagrama padrão
Contactor auxiliar com
bobina de corrente

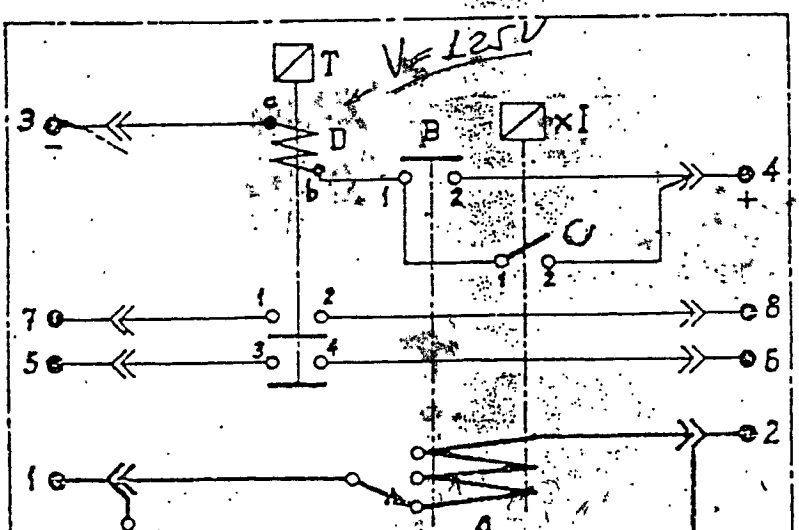


Fig. 4

Diagrama padrão
Contactor auxiliar com
bobina de tensão

Relé de corrente máxima e de temporização inversa, tipo ICM

A Bobina de corrente
B Contato de temporização do relé
C Contato instantâneo
D Contactor auxiliar
E Contato curto-circuitador
T Botão de aviso de desligamento
xI Botão de aviso de disparo instantâneo

GOVERNO DO
ESTADO DE SÃO PAULO

SECRETARIA
DE ESTADO
DE ENERGIA

CESP
Companhia
Energética de
São Paulo